Indice

Premessa

Questo testo affronta alcuni temi relativi all'ecologia vegetale in particolare quelli legati alla capacità adattativa delle specie vegetali e alla loro soglia di tolleranza alla variazione dei fattori ambientali, considerando che le condizioni ambientali stanno cambiando repentinamente a causa del cambiamento globale, che include l'aumento dei livelli di antropizzazione, della concentrazione dei gas serra e della temperatura. Tutto questo sta determinando un depauperamento della biodiversità, considerando che alcune specie si adattano alla variazione dei fattori ambientali modificando il loro fenotipo, altre si "spostano", ad esempio lungo gradienti altitudinali, mentre quelle con una ridotta capacità adattativa rischiano di scomparire, anche a causa della capacità competitiva delle specie esotiche invasive (IAS), in particolare dove le risorse sono scarse. Nell'ambito delle strategie di conservazione della biodiversità è importante quindi approfondire le conoscenze sulle modalità di conservare delle specie vegetali e in particolare di quelle a rischio di estinzione, considerando le strategie che possono essere attuate *in situ* e *ex situ*. Il germoplasma delle specie a rischio conservato *ex situ* nelle Banche del Germoplasma può infatti essere utilizzato *in situ* per aumentare il numero degli individui in popolazioni di ridotte dimensioni, ove necessario, oppure per la reintroduzione in ambienti altamente depauperati o, chissà, per mostrare nei giardini botanici, fra 100 o 200 anni, a coloro che saranno curiosi, le specie estinte in natura, le cui immagini saranno riportate sui libri.

Si deve considerare che l'individuazione dei tratti caratterizzanti il fenotipo consente di realizzare modelli di risposta delle specie alla variazione dei fattori ambientali.

Voglio sottolineare che è importante non perdere mai la curiosità, che è un elemento fondamentale per approfondire le conoscenze e arrivare a nuove scoperte.

In questa trattazione i processi biochimici, fisiologici, morfologici ed anatomici saranno trattati solo relativamente a temi ecologici, per cui per chi desiderasse approfondire può fare riferimento ai testi specialistici.

Capitolo I

L'ecosistema

Al complesso sistema di organismi (componente biotica) ed ambiente chimico–fisico (componente abiotica) interagenti in una data area viene dato il nome di ecosistema.

La componente abiotica dell'ecosistema è costituita dalle caratteristiche del suolo, dell'acqua e del clima, mentre la componente biotica dai produttori (vegetali e alcuni batteri), dai consumatori (animali) e dai decompositori (funghi e batteri). I produttori (autotrofi) attraverso il processo fotosintetico, utilizzano l'energia proveniente dal sole, l'anidride carbonica che assorbono dall'aria e l'acqua e i nutrienti che assorbono dal suolo per produrre sostanza organica. I consumatori

Figura 1.1. Esempi di ecosistemi: il lago, la duna costiera, il bosco.

primari (erbivori) utilizzano parte di tale sostanza organica e vengono, a loro volta, utilizzati dai consumatori secondari (carnivori). I decompositori rimettono continuamente in circolo gli elementi nutritivi attraverso la decomposizione di parte della sostanza organica.

Dal punto di vista termodinamico l'ecosistema è un sistema aperto in cui gli organismi determinano continui cambiamenti della materia, formando nuove sostanze e fornendo energia al sistema, che permette il raggiungimento di stadi di maggiore evoluzione.

Ogni ecosistema è caratterizzato da diversi produttori, consumatori e decompositori, ovvero da una diversità biologica (biodiversità), associata a diverse caratteristiche fisiche e chimiche del suolo, dell'acqua e dell'atmosfera. Inoltre, a parità di numero di specie, gli ecosistemi possono diversificarsi per quanto riguarda le dominanza di ciascuna specie. A tale proposito numerosi Autori hanno proposto alcune formule per calcolare l'indice di diversità dell'ecosistema, come ad esempio quello di Shannon (indice di diversità *H*), in cui la diversità è funzione della probabilità (p) della presenza di una specie i in un dato insieme di individui:

$$H^{S}_{i=1} = -\sum_i p_i log_2 p_i$$

dove S è il numero delle specie e p_i rappresenta la probabilità che un individuo appartenga alla specie i, per cui:

$$p_i = \frac{\text{numero di individui della specie}_i}{\text{numero totale di individui}}$$

Quando tutti gli organismi appartengono alla stessa specie H è uguale a 0, mentre un indice H elevato corrisponde alla presenza di numerose specie ognuna rappresentata da quantità simili di individui.

Un'altra caratteristica dell'ecosistema è la variabilità delle dimensioni che, ad esempio, possono essere quelle di una foresta, di uno stagno, di una prateria d'altitudine o di un campo di grano.

Le perturbazioni sia naturali che antropiche, come ad esempio un incendio o l'immissione di sostanze inquinanti, possono determinare alterazioni dell'ecosistema, che può rispondere ai fattori di perturbazione adattandosi o perdendo le sue caratteristiche. L'ecosistema che è capace di recuperare rapidamente il suo stato funzionale, dopo

l'impatto di uno o più fattori di perturbazione, è caratterizzato da una stabilità di resilienza, mentre la capacità dell'ecosistema di resistere a una o più fattori di perturbazione viene definita stabilità di resistenza.

Capitolo II

I fattori climatici

2.1. Il clima

Il clima è la risultante delle variazioni delle condizioni dell'atmosfera che sono determinate essenzialmente dalla radiazione solare (intensità costante) e dai moti del pianeta (rotazione e rivoluzione). Vanno inoltre considerate le complesse interazioni fra l'energia in arrivo dal sole, l'atmosfera, gli oceani, le nubi, il suolo, la copertura vegetale e le caratteristiche geomorfologiche, che incidono diversamente sull'energia assorbita e su quella riflessa. La quantità di energia solare ricevuta dalla superficie terrestre dipende da fattori geografici, come la latitudine e l'altitudine, ed è massima all'equatore e minima ai poli.

Per la fascia equatoriale non ci sono differenze significative nell'intensità della radiazione fra i vari periodi dell'anno, mentre per la fascia temperata l'intensità è maggiore nel periodo estivo. La quantità di radiazione ricevuta in una determinata zona influisce sulla temperatura e, di conseguenza, sul clima.

La temperatura, l'umidità, la pressione atmosferica, i venti e le precipitazioni sono detti elementi climatici.

La temperatura diminuisce con l'aumentare dell'altitudine, perché l'atmosfera riceve calore principalmente dalla superficie terrestre. L'aria degli strati inferiori è più calda di quella sovrastante non solo perché è più densa ma anche perché è più ricca in vapore acqueo e pulviscolo e quindi più idonea ad assorbire la radiazione che viene riflessa dalla superficie terrestre rispetto all'aria degli strati più alti che, al contrario, è più rarefatta. Nella troposfera si ha una diminuzione di 0.6 °C ogni 100 metri in altitudine. La temperatura varia anche in relazione al diverso comportamento della terra e delle acque rispetto alla radiazione, ovvero alla capacità dei corpi di trattenere il calore. Ad esempio il terreno e le rocce si riscaldano intensamente e rapida-

mente ma si raffreddano altrettanto rapidamente, mentre le acque possiedono una capacità termica più elevata e il loro raffreddamento è più lento (Accordi e Lupia Palmieri, 1987).

La differenza fra la temperatura massima e quella minima registrate in uno stesso luogo nelle ventiquattro ore si chiama escursione termica giornaliera, mentre la differenza fra la temperatura media del mese più caldo e quella del mese più freddo nel corso dell'anno viene definita escursione termica annuale.

Le precipitazioni più comuni avvengono in forma liquida, cioè sotto forma di pioggia, mentre quelle in forma solida originano la neve e la grandine. In nessuna altra parte del mondo, ad eccezione dell'Antartide e di alcune aree montane, le precipitazioni sono soltanto nevose. La distribuzione delle precipitazioni sulla superficie terrestre è disuguale e la quantità delle precipitazioni è variabile da un anno all'altro, come ad esempio avviene nel clima mediterraneo dove variano significativamente sia la quantità totale annua delle precipitazioni che la loro distribuzione.

L'umidità assoluta è data dalla quantità di vapore acqueo (espressa in grammi) contenuta nell'unità di volume di aria (1 m^3) in un dato momento e in un determinato punto dell'atmosfera. L'umidità assoluta varia con la temperatura, diminuendo dalle regioni equatoriali (in media 20 – 25 g/m^3) a quelle polari (1 – 2 g/m^3). L'umidità assoluta diminuisce inoltre col procedere verso l'interno dei continenti, in particolare in presenza di alta pressione e con l'aumentare dell'altitudine.

L'umidità relativa è il rapporto in percentuale tra la quantità di vapore acqueo effettivamente presente in un dato volume di aria e la quantità massima che potrebbe essere contenuta alla medesima temperatura (ossia è il rapporto fra l'umidità dell'aria ed il suo punto di saturazione a quella temperatura). L'aria satura ha una umidità relativa del 100%.

Si possono valutare differenze climatiche fra territori diversi, come ad esempio le aree montane del Trentino e quelle della costa tirrenica, o fra zone dello stesso territorio, come ad esempio la duna mobile e la macchia mediterranea che colonizza le dune stabili oppure il versante esposto a Nord e quello esposto a Sud di un massiccio montuoso, oppure a livelli diversi di uno stesso organismo, come ad esempio la parte alta e quella bassa della chioma di un albero.

In generale si parla di macroclima quando si fa riferimento ad un territorio più o meno ampio, ovvero alle condizioni che sono il risultato della situazione geografica e orografica, corrispondenti al clima regionale di De Martonne. Un esempio di macroclima è quello mediterraneo, che interessa il Bacino del mediterraneo e altre aree geografiche nel mondo (la California, il Cile Centrale, il Sudafrica e l'Australia Occidentale).

Il mesoclima è una variante del macroclima ed è in relazione a fattori topografici, per esempio una valle o i versanti in aree di montagna.

Il microclima è il clima considerato a scala ridotta, ad esempio il clima sotto le chiome dello strato arboreo di un bosco (Venanzoni e Pedrotti, 1995).

La scienza che studia il clima, la distribuzione geografica e le variazioni che intercorrono nel corso del tempo è la climatologia.

Il clima sul nostro pianeta ha subito variazioni profonde nel corso di milioni di anni e le condizioni climatiche attuali costituiscono una situazione temporanea.

Le variazioni climatiche sono attribuibili a cause di ordine astronomico, a cambiamenti della costante solare, oppure a cause di ordine geofisico (deviazioni di percorso delle correnti oceaniche, variazioni della grande circolazione atmosferica, della distribuzione di oceani e continenti, materiali immessi nell'atmosfera da eruzioni vulcaniche). Le variazioni climatiche sono correlabili con le variazioni plurisecolari dell'attività solare, considerando che un maggior numero di macchie solari determina un riscaldamento globale, mentre un minor numero determina un raffreddamento. Il numero di macchie solari presenti sul sole non è costante, ma varia tra periodi di minimo e di massimo.

Nei tempi passati la terra è stata interessata da periodi freddi (glaciali) e periodi caldi (interglaciali).

A partire dalla fine dell'ultimo periodo glaciale, che si è verificato circa 11.000–12.000 anni fa, si è avuto un progressivo innalzamento della temperatura a cui sono seguite oscillazioni minori.

Per quanto riguarda l'Europa, fra il 5000 e il 1400 a.C. il clima era caratterizzato da una temperatura di almeno 4°C superiore all'attuale (periodo più caldo degli ultimi 8.000 anni) e il bosco saliva fino a 2600 metri di altitudine. Dal 1500 a.C. fino al 300 a.C. si è instaurato un clima freddo e fra il 1000 d.C. e il 1270 d.C. si è avuto un riscaldamento simile

all'attuale che ha portato ad un sensibile riscaldamento dell'atmosfera. Fra il 1550 e il 1850 è avvenuta la più grave crisi climatica, che ha provocato un abbassamento di 500 metri del limite del bosco, del pascolo e delle nevi persistenti, seguita da una fase di riscaldamento, che è ancora in corso (Accordi e Lupia Palmieri, 1987).

In particolare il riscaldamento globale dell'atmosfera ha portato negli ultimi 100 anni ad un aumento della temperatura media terrestre di circa 0.6°C ed il fenomeno si è manifestato con maggiore evidenza fra il 1910 ed il 1945 e dal 1976 ad oggi. Il tasso di riscaldamento di quest'ultimo periodo è il più elevato degli ultimi 1000 anni, soprattutto a causa dell'aumento delle temperature minime, che sono aumentate ad un tasso doppio rispetto alle massime. Di conseguenza alle medie e alle alte latitudini sono diminuiti i periodi con temperature inferiori a 0°C e ciò ha determinato dal 1960 ad oggi un decremento della copertura nevosa e della estensione dei ghiacci di circa il 10%. Si è riscontrato inoltre un cambiamento non uniforme nel regime delle precipitazioni, con un incremento dello 0.5 – 1% per decade alle medie e alle alte latitudini dell'emisfero nord ed una diminuzione dello 0.5% ai sub–tropici. Il 2003 è stato l'anno più caldo degli ultimi 200 anni con una temperatura estiva di oltre 4°C sopra la media.

La fase di clima caldo che stiamo vivendo probabilmente si colloca in un periodo interglaciale. Nei periodi glaciali la concentrazione atmosferica di anidride carbonica (CO_2) diminuisce mentre aumenta nei periodi interglaciali. Si deve tuttavia considerare che in condizioni normali i gas che compongono l'atmosfera impediscono la completa rifrazione dei raggi del sole che colpiscono la terra (effetto serra), consentendogli di trattenere il calore come in una serra e di mantenere una temperatura media intorno ai 15°C. Se la terra non avesse l'atmosfera, la temperatura sarebbe troppo bassa e quindi l'effetto serra è un fenomeno importante per la sopravvivenza dell'uomo. Tuttavia gli elevati livelli di antropizzazione, in particolare negli ultimi 100 anni, hanno determinato l'immissione di grandi quantità di gas ad effetto serra in atmosfera, quali l'anidride carbonica (CO_2), il metano (CH_4), il protossido di azoto (N_2O), gli idrofluorocarburi (HFC), i fluorocarburi (PFC) e l'esasolfuro di zolfo (SF_6) (Nemitz *et al.*, 2002; Coutts *et al.*, 2007; Nejadkoorki *et al.*, 2008, McAdam *et al.*, 2011), che hanno favorito il surriscaldamento. In conseguenza di ciò si sta determinando

lo spostamento verso Nord delle fasce climatiche dell'emisfero settentrionale.

Fra i gas serra la concentrazione atmosferica di CO_2 è aumentata da 280 parti per milione (ppm) del periodo pre–industriale a 395 ppm di oggi (Mauna Loa Observatory NOA–ESRL, ottobre 2014). La CO_2 assorbe con maggiore efficienza la radiazione nell'infrarosso emessa dalla terra e in questo modo tende ad intrappolare il calore vicino alla superficie terrestre (Schneider, 1990). L'Osservatorio Solare di Mauna Loa alle isole Hawaii, dal 1958 rileva la concentrazione di CO_2 ed altri gas presenti in atmosfera. Per la sua collocazione a 3500 metri s.l.m., dove l'aria non è esposta ad alcuna fonte di inquinanti, Maona Loa è un Centro di eccellenza a livello mondiale per monitorare le variazioni dei gas in atmosfera.

Si prevede che un ulteriore aumento della concentrazione atmosferica di gas serra potrebbe determinare un innalzamento della temperatura media del globo di circa 3°C per l'anno 2100 (IPCC, 2007; Mitchell *et al.* 2011). L'effetto serra determina anche una maggiore quantità di energia all'interno dell'atmosfera, di conseguenza grandi centri di alta e bassa pressione, come l'anticiclone delle Azorre o il ciclone d'Islanda, cambiano la loro posizione incrementando fenomeni estremi.

La riduzione della concentrazione dei gas serra, e in particolare di anidride carbonica, è il principale obiettivo del Parlamento Europeo, che impegna i Paesi della UE a ridurre del 20% le emissioni dei gas serra, accrescere l'efficienza energetica del 20% ed aumentare le energie rinnovabili del 20% entro il 2020.

I dati climatici, in particolare la temperatura, l'umidità e le precipitazioni, vengono rilevati da Stazioni Meteorologiche, private o pubbliche, come ad esempio in Italia quella gestita dal Ministero dei Lavori Pubblici o quella dell'Aereonautica Militare. I dati vengono raccolti per mezzo di strumentazioni poste all'interno di capannine meteorologiche situate a circa 2 metri dal suolo. In particolare si tratta di termometri, igrometri e pluviometri, rispettivamente per la misura della temperatura, dell'umidità e delle precipitazioni. I dati sono registrati dal gestore e possono essere fruiti su richiesta.

2.2. Diagrammi climatici

Fra i metodi di rappresentazione grafica del clima, i climogrammi riportano, in un sistema di assi cartesiani, la temperatura e le precipitazioni totali mensili, permettendo di evidenziare le variazioni fra diversi tipi di clima. A titolo di esempio il Diagramma di Bagnouls e Gaussen (1957) (Fig. 2.1) mostra in ordinata la temperatura media mensile e le precipitazioni totali mensili e in ascissa i mesi dell'anno. La scala delle precipitazioni doppia rispetto a quella della temperatura determina l'intersecazione delle due curve che delimitano un'area relativa al periodo di aridità.

2.3. L'atmosfera e la radiazione solare

Nell'atmosfera si possono distingue strati diversi. In particolare passando dal livello della superficie terrestre fino ad una altitudine di 8–10

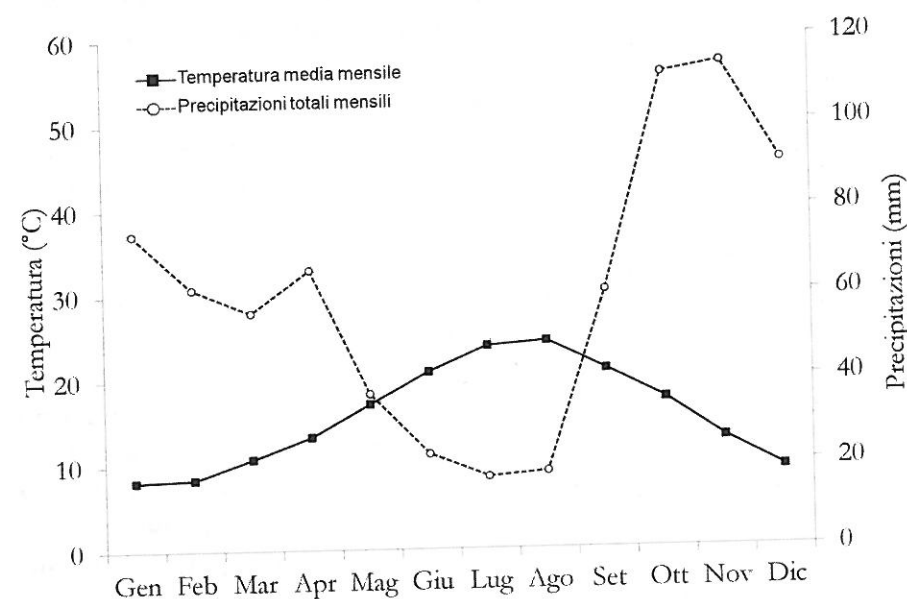



Figura 2.1. Diagramma di Bagnouls e Gaussen (1957) relativo alla Stazione meteorologica di Castelporziano (Lazio) nel periodo 1985–2013.

km ai poli e di 14–18 km all'equatore c'è la troposfera, seguita dalla stratosfera, che si estende fino ad una altitudine di 50–60 km, segue la mesosfera che si estende fino a 80 km, la termosfera che arriva a 400–500 km, seguita dalla esosfera.

L'atmosfera negli strati vicini alla superficie terrestre contiene il 78% di azoto, il 21% di ossigeno, lo 0.934% di argon, lo 0.039% di anidride carbonica e lo 0.031% di altri gas (fra cui neon, elio, kripton, xenon, idrogeno, ozono, anidride solforosa, ammoniaca, ossido di carbonio). L'atmosfera è ricca di vapore acqueo e di polveri provenienti dalla superficie terrestre e gli strati più alti sono più rarefatti e meno ricchi di vapore d'acqua rispetto a quelli più bassi. Nella troposfera la temperatura diminuisce in media di 0.6 °C ogni 100 metri. Nella stratosfera a 15–35 Km c'è uno strato di ozono (O_3) che assorbe gran parte delle radiazioni ultraviolette, la cui presenza sarebbe negativa per la vita.

Il sole emette continuamente una radiazione di circa 5.2×10^{24} kilocalorie al minuto sotto forma di onde elettromagnetiche.

Una parte di questa radiazione viene riflessa verso lo spazio dalle nubi, dal pulviscolo e dal vapore acqueo (31%), mentre un'altra parte viene assorbita dall'atmosfera e dalle nubi (18%). Del 51% della radiazione che arriva sulla superficie terrestre, il 4% viene persa per riflessione. Del restante 47%, il 23% viene utilizzato per l'evaporazione e viene restituito all'atmosfera come calore latente, il 10% è speso nei moti turbolenti e convettivi dell'aria e il 14% forma la radiazione notturna.

La terra riceve quindi energia dal sole, la assorbe e la converte in calore ed emette energia sotto forma di lunghezze d'onda comprese fra 4 e 80 μ. Il divario fra la radiazione solare che entra e la radiazione terrestre che esce forma il bilancio termico (Accordi e Lupia Palmieri, 1987).

Le diverse zone del globo hanno un bilancio terra/atmosfera diverso, ad esempio la zona equatoriale assorbe più calore di quanto ne perde. Si deve considerare che l'energia di un quanto o fotone è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda ($E = hc/\lambda$, dove h è la costante di Planck, che correla l'energia di un fotone con la frequenza dell'energia radiante, ed è uguale a 1.58×10^{-34} cal s). Le lunghezze d'onda più lunghe hanno fotoni meno energetici.

Tabella 2.1.

Tipo di radiazione	banda spettrale (µm)
Ultravioletto	0.10 – 0.38
PAR	0.38 – 0.71
Infrarosso vicino	0.71 – 4.00
Onde lunghe	3.00 – 10.0

2.4. Potere riflettente dei diversi corpi

Le nubi, il pulviscolo e le particelle di vapore riflettono fino all'80% della radiazione, mentre il potere riflettente di alcune rocce scure è circa 0%. Un terreno erboso riflette il 20% perché l'80% è assorbito e riscalda il terreno. Un deserto sabbioso riflette circa il 30% della radiazione incidente, la neve fresca l'80% e il mare circa il 4% (Accordi e Lupia Palmieri, 1987).

Nell'ambiente acquatico i raggi luminosi vengono assorbiti in maniera diversa, tanto più profondamente quanto minore è la loro lunghezza d'onda. Naturalmente la penetrazione della luce è in rapporto alla trasparenza delle acque ed i raggi a maggiore lunghezza d'onda (gialli e rossi) sono i primi ad essere assorbiti, mentre quelli a lunghezza più breve (blu ed ultravioletti) penetrano a maggiore profondità. I vegetali si distribuiscono in base alla presenza dei loro pigmenti fotosintetici, che assorbono lunghezze d'onda diverse in relazione alla loro caratteristiche chimiche. Le alghe in media si possono rinvenire fino a 150 m di profondità.

Bibliografia

Accordi B., Lupia Palmieri E. *Il Globo Terrestre e la sua Evoluzione*. Zanichelli, Bologna, 1987.

Bagnouls F., Gaussen H. *Les climats biologiques et leur classification*. Ann. Geogr.,1957, 66: 193–220.

Coutts A.M., Beringer J., Tapper N.J. *Characteristics influencing the variability of urban CO2 fluxes in Melbourne*. Australia, Atmos Environ 2007, 41: 51–62.

IPCC *Climate Change 2007 – Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.

McAdam S.A.M., Brodribb T.J., Ross J.J., Jordan G.J. *Augmentation of abscisic acid (ABA) levels by drought does not induce short–term stomatal sensitivity to CO2 in two divergent conifer species*. J. Exp. Bot. 2011, 62: 195–203.

Mitchell D.M., Charlton–Perez A.J., Gray L.J. *Characterizing the variability and extremes of the stratospheric polar vortices using 2D moment analysis*. J. Atmos. Sci. 2011, 68: 1194–1213.

Nejadkoorki F., Nicholson K., Lake I., Davies T. *An approach for modelling CO2 emissions from road traffic in urban areas.* Sci. Total. Environ. 2008, 406: 269 – 278.

Nemitz E., Hargreaves K.J., McDonald A.G., Dorsey J.R., Fowler D. *Micrometeorological measurements of the urban heat budget and CO2 emissions on a city scale.* Environ. Sci. Technol. 2002, 36: 3139–3146.

Schneider S.H. *Simulazioni climatiche al calcolatore.* Le Scienze, quaderni, 1990, 54: 55–62.

Venanzoni R., Pedrotti F. *Il clima*. In Pignatti S., (a cura di), Ecologia vegetale, UTET, Torino, 1995.

Capitolo III

La biodiversità

L'evoluzione ha prodotto nel corso di tre miliardi di anni una grande diversità di specie che oggi, con un termine moderno, viene chiamata biodiversità (diversità biologica). Tale termine, introdotto da W.G. Rosen nel 1988, è entrato ufficialmente nel linguaggio comune nel 1992, in seguito alla Conferenza Internazionale che si è svolta a Rio de Janeiro sullo stato dell'ambiente. In tale contesto è stata definita la Con-

Figura 3.1. Uno spaccato sulle 1.730.000 specie viventi note.

venzione per la Diversità Biologica (CBD) nell'ambito del Programma per l'Ambiente delle Nazioni Unite (United Nations Environment Programme, UNEP). La Convenzione è entrata in vigore nel 1993 ed è stata ratificata da più di 180 Paesi nel mondo. Nella riunione di Rio de Janeiro è stato sancito l'impegno fra gli Stati di conservare le risorse genetiche del pianeta, che rappresentano un patrimonio per tutti i popoli.

Si deve sottolineare che la diversità è una proprietà di tutti i sistemi biologici e rappresenta il fattore più importante nel processo evolutivo consentendo l'affermazione di tipologie diverse in un ambiente in continuo cambiamento.

La biodiversità è la somma di tutte le variazioni biotiche, dal livello di geni a quello di ecosistema (Purvis e Hector, 2000). Più in particolare, la diversità ecosistemica è data dalla variabilità di tutti gli ecosistemi acquatici e terrestri, la diversità genetica fa riferimento alle diverse informazioni contenute nei geni degli organismi e la diversità di specie è costituita da tutte le specie viventi (8.7±1.3 milioni), di cui circa 1.730.000 note (International Union for Conservation of Nature, IUCN, 2013, www.iucnredlist.org). Per quanto riguarda i vegetali sono note 281.052 piante vascolari, di cui 12.500 in Europa, a cui si associano 16.236 briofite, 17.000 licheni e 31.496 funghi (IUCN, 2013). La flora vascolare italiana ammonta a oltre 7000 *taxa* autoctoni vascolari, di cui il 18% endemici (Rossi *et al.*, 2013). Tuttavia è difficile indicare con precisione tale numero per motivi diversi, fra cui gli esigui dati certi e il problema dei sinonimi che, ad esempio per le fanerogame varia fra 250.000 (Mabberley, 1997) e 400.000 (Govaerts, 2001; Bramwel, 2002). Mancano inoltre informazioni dettagliate di tipo corologico e autoecologico, in particolare per le specie rare e minacciate, così come dati sulla loro capacità riproduttiva e sulla soglia di tolleranza ai fattori di stress, incluso il cambiamento globale.

Poiché le specie presenti in un ecosistema esprimono la loro capacità adattativa, che è legata a percorsi evolutivi diversi, dal punto di vista ecologico la misura quantitativa della diversità di specie è il dato più significativo della biodiversità.

Si deve inoltre considerare che la diversità biologica non è distribuita in modo uniforme, ma aumenta con il diminuire della latitudine, ovvero dalle zone polari a quelle tropicali. I tropici sono caratterizzati da estese aree con caratteristiche climatiche simili e questo determina un alto tasso

di speciazione e una bassa probabilità di estinzione (Gaston e Mound, 1993). In particolare, la biodiversità della foresta tropicale, caratterizzata dalla presenza di più strati arborei, arbustivi, lianosi ed erbacei, è legata a fattori climatici e pedologici ed al rapido riciclo dei nutrienti. Ad esempio un ettaro di foresta amazzonica può ospitare oltre 200 specie di vegetali superiori, mentre un ettaro di foresta di caducifoglie nella fascia temperata circa 30 specie (Pignatti, 1995).

Sebbene fino ad oggi sia stata sottolineata la variazione latitudinale della biodiversità restano tuttavia aperte molte problematiche sulla diversità di geni, individui e popolazioni lungo gradienti latitudinali. Per esempio, procedendo dai poli verso l'equatore, all'elevata biodiversità si associa una riduzione dell'ampiezza nella distribuzione geografica delle specie. È importante sottolineare che le specie caratterizzate da una ampia distribuzione geografica hanno una elevata plasticità fenotipica che consente una elevata capacità di adattamento (Gratani, 2014).

I processi di antropizzazione e, in particolare quelli degli ultimi 100 anni, hanno profondamente modificato l'ambiente, determinando una rilevante perdita di biodiversità e il fenomeno ha raggiunto livelli tali da assumere carattere di emergenza e da richiedere strategie globali di conservazione. Uno dei fattori che ha inciso notevolmente sulla riduzione della biodiversità è stata la trasformazione avvenuta in agricoltura. Si può far risalire la coltivazione delle prime specie vegetali a 10.000 anni fa, poi, nel corso del tempo sono state selezionate specie e varietà che rappresentano un patrimonio di elevata valenza ecologica e culturale. Tuttavia, lo sviluppo dell'agricoltura industrializzata all'inizio del secolo scorso ha favorito l'uniformità genetica, facendo perdere circa il 70–80% della diversità vegetale in questo settore e il fenomeno è in aumento.

Se da una parte può essere relativamente semplice valutare la presenza o l'assenza di una determinata specie, è certamente più difficile valutare la perdita di diversità a livello di tipologie strutturali e funzionali. Questo è il motivo per cui attualmente molti ricercatori focalizzano i loro studi sull'individuazione dei caratteri di diversità (Tilman *et al.*, 1997; Grime 1998; Eviner, 2004; Mouchet *et al.*, 2010; Gratani *et al.*, 2012; 2013) e sulla valutazione dell'impatto della perdita di una determinata tipologia di caratteri a livello ecosistemico. Da qui nasce l'importanza della documentazione della biodiversità, anche attraverso la definizione

dello *status* di conservazione delle singole entità. Le risorse genetiche sono un patrimonio di tutti i popoli e conservare la biodiversità significa mantenere l'alta valenza di specie wild.

Gli hotspots sono aree geografiche caratterizzate da una elevata biodiversità, fra cui endemismi e specie a rischio di estinzione. Il Bacino del Mediterraneo rappresenta uno degli hotspots (Myers, 1988) nel mondo, poiché contiene 25.000 piante superiori, di cui 4.3% endemiche e 770 specie di vertebrati di cui lo 0.9% endemiche. Il 44% delle specie vascolari e il 35% delle specie di vertebrati sono presenti in 25 hotspots distribuiti nel globo, che coprono solo un quarto della superficie terrestre (Myers *et al.*, 2000). Casi di grave rischio si hanno nelle 5.000 isole del Bacino del Mediterraneo (Eolie, Baleari, Corsica, Creta, Cipro, Grecia, Malta, Sardegna, Sicilia, Arcipelago toscano, Capraia, Columbretes, Alboran), dove il 10% delle specie sono endemismi, la maggior parte dei quali rappresentati da pochissimi individui. In tali isole sono state contate 50 specie a rischio, fra cui *Viola ucriana* Erben & Raimondo (pochissimi individui sul Monte Pizzuto, in Sicilia), *Zelkova sicula* Di Pasq., Garfi & Quézel (250 individui sul versante nord dei Monti Iblei, Sicilia), *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei (meno di 50 individui sui versanti aridi del Monte Scalone, nelle Madonne), *Salvia veneris* Hedge (pochi individui a Cipro), *Ribes sardoum* Martelli (100 individui in Sardegna) e *Allium calamarophilon* Phitos & Tzanoud. (pochi individui in Grecia).

Aree ricche di biodiversità sono anche quelle nel bioma tropicale come ad esempio le Ande tropicali, che comprendono 45.000 specie vegetali, di cui il 6.7% endemiche (Myers *et al.*, 2000).

La conservazione della biodiversità in generale e delle specie rare o minacciate in particolare è uno degli obiettivi prioritari della Comunità Scientifica Internazionale, in accordo con le raccomandazioni della Convenzione sulla Biodiversità (CBD, 1992), che ha sancito l'importanza della conservazione del patrimonio biologico del pianeta riconoscendone un valore, della Convenzione di Berna (1979), della direttiva Habitat (1992), della IUCN e dell'Important Plant Areas (IPA) per l'identificazione delle aree ad elevata biodiversità. L'IPA è stato proposto da PLANTA EUROPA, l'Organizzazione non governativa che si riunisce periodicamente per discutere le problematiche sulla conservazione delle specie vegetali in Europa (Planta Europa 2001, 2008) e per garantire, attraverso una rete di Siti, la conservazione *ex situ*, ovvero al di fuori del luogo di origine, di specie a rischio, specie endemiche e specie rare.

Nella Conferenza delle Parti (COP), che si è svolta all'Aja nel 2002, è stata definita una Strategia Globale per la Conservazione della biodiversità e sono state indicate le azioni da intraprendere a livello globale, regionale, nazionale e locale, con alcuni obiettivi da raggiungere nel 2010, fra cui la conservazione *ex situ* di circa il 60% delle specie minacciate. In tale occasione è stata sottolineata l'importanza dell'informazione sull'uso sostenibile della biodiversità, anche attraverso la conservazione delle specie spontanee, le cui caratteristiche genetiche sono il frutto di un lungo processo evolutivo, al contrario delle specie geneticamente realizzate in laboratorio, di cui non è possibile stabilire la capacità adattativa nel corso del tempo in risposta alla variazione dei fattori ambientali.

Su incarico dell'Unione Europea è stata realizzata la European Red List of Vascular Plants (2011), in cui è stato valutato lo stato di conservazione di 1826 specie vegetali (incluse negli allegati della Direttiva Habitat, Convenzione di Berna e CITES) di cui 467 specie risultano a rischio di estinzione, e della Lista Rossa della Flora Italiana (1997), per le quali l'assessment è stato fatto con i criteri della IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione della Natura), utilizzando il criterio B (basato sulle dimensioni dell'areale geografico di distribuzione della specie) (http://bookshop.europa.eu).

Al fine di sostenere la conservazione delle specie occorre anche pianificare ricerche finalizzate alla riproduzione delle specie a rischio da utilizzare anche per eventuali operazioni di reintroduzione nei siti di origine perturbati o per aumentare il numero di individui in popolazioni di ridotte dimensioni (Maunder, 1992; Drayton e Primack, 2000; Gratani *et al.*, 2009; 2010; Guerrant, 2013). Tutto ciò sottintende una politica attenta, che dovrebbe incorporare gli obiettivi della conservazione nelle Direttive governative, attribuendo loro un impegno finanziario comparabile a quello dei programmi di sviluppo economico, che dovrebbe essere finalizzato al mantenimento della potenzialità delle risorse naturali e ambientali per le generazioni future.

La IUCN è la più grande organizzazione mondiale per la conservazione della biodiversità fondata nel 1948 che, a partire dagli anni '60, ha avviato un programma di ricerca mirato ad individuare i *taxa* a rischio di estinzione a livello globale e a documentarne lo stato di conservazione. L'obiettivo è quello di incoraggiare ed assistere le società

di tutto il mondo per conservare l'integrità e la diversità della natura e assicurare che qualsiasi utilizzo delle risorse naturali sia equo ed ecologicamente sostenibile.

La IUCN è costituita da 85 Stati Membri, 122 Agenzie Governative, 106 Organizzazioni internazionali non governative, 884 Organizzazioni nazionali non governative e 11.000 Esperti appartenenti a 173 Nazioni, che compongono le Commissioni nei diversi settori d'azione.

All'interno della IUCN la Commissione per la sopravvivenza delle specie (SSC, Survival species Commission) è la principale risorsa di informazioni scientifiche e tecniche sulla conservazione di specie animali e vegetali minacciate. La IUCN ha sottolineato l'importanza di strategie comuni di conservazione della biodiversità. In Europa ad esempio, per quanto riguarda le piante, il 24% delle specie vegetali conosciute rischia l'estinzione e oltre 1000 *taxa* sono da includere nelle categorie di minaccia proposte dalla IUCN.

La IUCN ha stabilito criteri oggettivi sui quali definire lo stato di conservazione delle specie a livello globale e locale. In particolare la valutazione dello stato di conservazione basata sulle categorie e criteri della Red List IUCN versione 3.1 (2001), prevede l'assegnazione delle specie a una delle nove categorie di rischio sulla base di assessment condotti utilizzando uno di cinque criteri stabiliti. Le categorie di rischio sono le seguenti:

— EX (Extinct – estinto): un taxon è ritenuto estinto quando non vi è alcun dubbio fondato per ritenere che l'ultimo individuo sia morto.
— EW (Extinct in the Wild – estinto in natura): un taxon è ritenuto estinto in natura quando esiste solo in coltura, in cattività o come popolazione naturalizzata, situata chiaramente al di fuori degli areali di distribuzione originari. Nelle Liste Rosse nazionali e regionali questa categoria deve essere sostituita dalla categoria RE (regionally extinct).
— CR (Critically Endangered – in pericolo d'estinzione): un taxon è ritenuto in pericolo di estinzione quando i dati disponibili più affidabili mostrano che un qualsiasi criterio compreso tra A e E per questa categoria risulta essere soddisfatto; esso è di conseguenza confrontato con un rischio estremamente elevato d'estinzione allo stato selvatico.

— EN (Endangered – minacciato): un taxon è ritenuto minacciato quando i dati disponibili più affidabili mostrano che un qualsiasi criterio compreso tra A e E per questa categoria risulta essere soddisfatto; esso è di conseguenza confrontato con un rischio molto elevato di estinzione allo stato selvatico.
— VU (Vulnerable – vulnerabile): un taxon è ritenuto vulnerabile quando i dati disponibili più affidabili mostrano che un qualsiasi criterio compreso tra A e E per questa categoria risulta essere soddisfatto; esso è di conseguenza confrontato con un rischio elevato di estinzione in natura.
— NT (Near Threatened – potenzialmente minacciato): un taxon è ritenuto potenzialmente minacciato quando, pur essendo stato valutato secondo i criteri, non soddisfa, per il momento, i criteri delle categorie in pericolo di estinzione, minacciato o vulnerabile; si colloca tuttavia vicino ai limiti per la classificazione in una categoria di minaccia o probabilmente li supererà nel futuro prossimo.
— LC (Least Concern – non minacciato): un taxon non è ritenuto minacciato quando è stato valutato e non soddisfa, per il momento, i criteri delle categorie in pericolo d'estinzione, minacciato, vulnerabile o potenzialmente minacciato. I *taxa* ampiamente diffusi e abbondanti sono classificati in questa categoria.
— DD (Data Deficient – dati insufficienti): un taxon è inserito nella categoria dati insufficienti quando le informazioni disponibili non sono sufficienti per effettuare, in base alla sua distribuzione o alla sua consistenza numerica, una valutazione diretta o indiretta del rischio di estinzione
— NE (not evaluated – non valutato): un taxon è inserito nella categoria non valutato quando non è stato valutato secondo i criteri.

Nell'ambito di azioni condivise i Governi ed i membri della società civile dell'Unione Europea in passato avevano aderito all'iniziativa Countdown 2010 (Conto alla rovescia 2010), allo scopo di prendere i provvedimenti necessari per fermare o ridurre la perdita di biodiversità entro il 2010. L'iniziativa era stata lanciata dalla IUCN nel 2004 a Malahide (Irlanda) e l'Italia, che aveva aderito nel 2005, è tra i 70 Paesi che hanno partecipato a questa iniziativa, attraverso l'implemen-

tazione delle legislazioni nazionali, le azioni dei Governi e del settore privato e l'opera di sensibilizzazione dei cittadini. Sebbene in questi ultimi anni molto sia stato fatto per cercare di raggiungere l'obiettivo 2010, tuttavia sono stati evidenziati alcuni punti di debolezza, che hanno suggerito di andare oltre tale obiettivo e preparare una strategia che possa supportare un nuovo piano d'azione per la conservazione della biodiversità, in cui sfruttare le conoscenze acquisite e poter superare le criticità emerse.

In tale contesto il Congresso mondiale della IUCN, che si è svolto a Barcellona dal 5 al 14 Ottobre 2008, ha messo in evidenza l'importanza di strategie mirate al miglioramento della qualità ambientale, alla conservazione di aree ad elevata valenza, come ad esempio quella del Mediterraneo, alla definizione dei sistemi di gestione delle foreste, alla risposta delle specie all'inquinamento ambientale, al cambiamento climatico e all'invasione di specie esotiche invasive (aliene, IAS). Il nuovo piano strategico è stato presentato alla decima Conferenza delle Parti (COP 10), che si è tenuta a Nagoya (Giappone) nell'Ottobre del 2010.

Inoltre, in occasione del 5° Congresso Mondiale della Conservazione, che si è svolto a Jeju, in Korea, la IUCN ha sottolineato l'urgenza di promuovere azioni effettive di conservazione. Il tema scelto è riassunto nello slogan "Nature+", per sottolineare l'importanza della natura e il suo legame con i diversi aspetti della vita dell'uomo, quali il clima, il cibo, lo sviluppo socio–economico, la valorizzazione delle risorse naturali e il loro utilizzo sostenibile. Nel corso del Congresso mondiale la Dichiarazione di Jeju (Nature+) rappresenta quindi lo spirito del Congresso e sottolinea che per la "Nuova Era di Conservazione" devono essere prese misure finalizzate a bloccare il rapido declino della biodiversità. È importante assicurare la conservazione delle più importanti aree per la biodiversità attraverso programmi di management che considerino il recupero a livello di specie e il restauro e il ripristino degli habitat. Si devono aumentare le conoscenze sui livelli di rischio delle specie per definire misure appropriate di conservazione e per affrontare le problematiche relativamente al global change, alla sicurezza alimentare e allo sviluppo economico e sociale considerando, nel momento attuale di crisi, lo sviluppo di nuove opportunità per le comunità rurali e costiere che richiedono approfondimenti a livello di conoscenze, governance e investimenti sostenibili.

La valutazione dello stato di conservazione è un punto critico che deve essere affrontato con la cooperazione dei Governi, Amministratori e Membri della IUCN, al fine di mantenere i servizi svolti dagli ecosistemi (ecosystem services), tenendo in considerazione la crescita economica, la sostenibilità ambientale e l'equità sociale. A proposito dell'ultimo punto, nell'ambito del Congresso è stato messo l'accento all'accesso e alla condivisione dei benefici (ABS = Access and Benefit Sharing, Nagoya 2010). Inoltre è stata messa in evidenza la necessità di affrontare le problematiche relative alla capacità di risposta delle specie autoctone all'invasione di specie aliene (in EUROPA ne sono state individuate 10.000 e in Italia sono state censite 1023 entità).

Per quanto riguarda il cambiamento climatico globale si è sottolineato che tale cambiamento potrebbe condizionare la distribuzione delle specie, determinando lo spostamento degli areali sia in latitudine che in altitudine e il fenomeno potrebbe essere più pronunciato alle alte latitudini, dove l'aumento della temperatura si prevede che sarà più consistente, rispetto alle zone più vicine all'equatore. Tuttavia, sebbene siano stati realizzati numerosi modelli per prevedere gli effetti del cambiamento climatico sulla biodiversità, la maggior parte di essi non tiene conto delle condizioni climatiche a scala regionale e/o locale e non considera la soglia di tolleranza delle specie ai fattori di stress, con conseguenze negative sul grado di accuratezza delle previsioni.

La SSC sta lavorando sugli indicatori (IUCN Red List Index), finalizzati a valutare il trend della biodiversità, la messa a punto della Red List per gli ecosistemi e l'identificazione delle Aree Chiave Della Biodiversità'(KBAs, Key Biodiversity Areas), considerando che la conservazione dei siti è uno dei mezzi più efficaci per attuare la perdita di biodiversità. Le KBAs sono fondamentali per fornire un approccio strategico al fine di allocare le risorse e massimizzare l'impatto della conservazione. I criteri per individuare questi siti sono basati sui concetti di vulnerabilità e sostituibilità.

La Red List degli Ecosistemi, elaborata nel quadriennio 2009–2012 da un Gruppo apposito della Commissione IUCN sulla gestione degli ecosistemi, si basa sui criteri utilizzati per la Red List delle specie. Sebbene restino ancora da chiarire alcuni punti, la Red List degli Ecosistemi è un complemento indispensabile alla Red List delle specie poiché gli ecosistemi rappresentano la diversità biologica in un modo più completo rispetto alle specie considerate individualmente.

Il programma IUCN 2013–2016 si basa sulla constatazione che mentre la produzione globale ed i modelli di consumo stanno distruggendo la natura a tassi elevati e persistenti, le persone, le comunità, i governi ed i soggetti privati non sono ancora in grado di fornire soluzioni adeguate alle sfide globali. La Regione Europea è in prima linea nel campo della conservazione della biodiversità, grazie soprattutto alla sua rete di aree protette. Tuttavia, lo stato generale di conservazione degli habitat e delle specie non mostra alcun segno di miglioramento, a causa del degrado del paesaggio che si osserva in tutta la Regione. Nell'ambito del piano strategico per la biodiversità il Programma IUCN mira a mobilitare le comunità che lavorano per la conservazione della biodiversità, lo sviluppo sostenibile e la riduzione della povertà, con uno sforzo comune teso a fermare la perdita di biodiversità, migliorare la capacità di recupero, ridurre la povertà e migliorare il benessere delle persone. Perché questo accada, saranno sviluppate e integrate:

— la Red List delle specie, che misura il rischio di estinzione delle specie
— la Red List degli ecosistemi, che misura il rischio di collasso dell'ecosistema
— le Aree chiave della biodiversità, che identificano i siti di importanza prioritaria per azioni di conservazione
— il Database Mondiale sulle aree protette, che individua i siti esistenti sottoposti a tutela
— la Dipendenza umana dalla natura, che individua il valore del contributo della natura per la qualità della vita
— la Governance Framework, che rappresenta una serie di criteri di conservazione su diritti, prestazioni e parità.

Il Piano è attuato attraverso le attività intraprese congiuntamente o singolarmente dai Membri IUCN, dai Comitati Nazionali, dai Membri della Commissione e dal Segretariato in Europa.

La Regione Europea IUCN si estende dalla Groenlandia alla penisola di Kamchatka, in Oriente, e dalle sponde settentrionali del Mar Mediterraneo al territorio artico, e comprende una vasta area marittima. Con una superficie di circa 28.300.000 km² (19% della superficie della Terra) l'Europa è il terzo più grande continente del

mondo e, con una popolazione di circa 908.000.000 di persone (circa il 13% del della popolazione mondiale), il terzo continente più popolato al mondo. Dal punto di vista della biodiversità, la Regione Europea comprende quattro hotspots (Caucaso, irano–anatolico, bacino del Mediterraneo, montagne dell'Asia centrale). Per i loro alti livelli di biodiversità e per la presenza di numerosi endemismi, sono stati aggiunti quattro hotspots (isole dei Caraibi, Isole dell'Oceano Indiano, Polinesia, Micronesia).

La IUCN ha sviluppato una solida esperienza nella gestione delle risorse marine e costiere, in particolare attraverso il lavoro del Centro di cooperazione del Mediterraneo. La pesca è fondamentale per l'economia di molti Paesi della Regione Europea e la IUCN continuerà a sostenere un approccio ecosistemico a questa attività, in modo da rispondere ai bisogni della società, senza compromettere la possibilità per le generazioni future di beneficiare di tutta la gamma di beni e servizi forniti dagli ecosistemi marini.

Nel corso degli ultimi anni, la IUCN ha lavorato sui temi della biodiversità con le Autorità urbane attraverso la ICLEI (International Council for Local Environmental Initiatives, un'associazione internazionale di Governi e Organizzazioni governative per un impegno allo sviluppo sostenibile). Questo lavoro continuerà nel corso del periodo 2013–2016, attraverso lo sviluppo della cooperazione con le Autorità locali sul miglioramento delle infrastrutture verdi all'interno delle città, il restauro e la connettività della biodiversità urbano–rurale e la gestione basata sugli ecosistemi in un contesto urbano e regionale. In linea con la risoluzione WCC.2012.Res.006, adottata durante il World Conservation Congress (IUCN) nel 2012, le partnership tra la IUCN e le Autorità locali e regionali saranno rafforzate per promuovere lo sviluppo della conoscenza, favorire la condivisione delle azioni apprese, scambiare le buone pratiche, promuovere l'integrazione della biodiversità e dei servizi ecosistemici nella pianificazione urbana e aumentare i benefici per i governi locali e le città per investire nel capitale naturale.

3.1. Congresso mondiale della IUCN sulle Aree Protette

Il Congresso mondiale della IUCN delle Aree Protette si svolge ogni 10 anni e l'ultimo si è svolto a Sidney dal 12 al 19 Novembre 2014. Il Congresso rappresenta il più autorevole punto di riferimento internazionale sulla conservazione e gestione delle aree protette nel mondo. A livello internazionale si è convenuto che almeno il 17% della terraferma e il 10% della superficie marina del pianeta dovranno essere protette entro il 2020. È importante intensificare le azioni e implementare soluzioni vincenti e replicabili a livello delle aree protette. Uno dei risultati del Congresso vuole essere quello di ispirare la prossima generazione di leader impegnati nella conservazione. Nell'ambito del Congresso si è parlato delle Green List dei Parchi. Si tratta di una iniziativa tesa a fornire ai Governi e ai loro partner assistenza per i progetti di conservazione nel rispetto degli impegni contenuti nel piano Strategico della CBD per la biodiversità, in particolare relativamente al Target 11 (entro il 2020 almeno il 17% delle acque interne e il 10% delle zone costiere e marine, le aree di rilevante importanza per la biodiversità e per i servizi ecosistemici saranno conservate attraverso sistemi efficacemente ed equamente gestiti ed ecologicamente rappresentativi).

Le Green List dei parchi sono state pensate per promuovere il riconoscimento della diversità, evitare la competizione fra Paesi/Agenzie, sottolineare i risultati raggiunti da Paesi/Agenzie, includere fra i parametri di valutazione i commenti dei visitatori e sensibilizzare le comunità. Questa iniziativa è condotta e supervisionata dal Global Protected Areas (WCPA), in collaborazione con le Agenzie di gestione delle aree protette e da altri Organismi di gestione competenti, inclusi i privati. In questo percorso internazionale sono state identificate aree protette nelle quali condurre la fase pilota per l'identificazione e l'adattamento degli indicatori per il processo di Green List, che sarà una sperimentazione sulla potenzialità a livello globale. Al World Parks Congress ogni Paese ha presentato le Green List selezionate. In particolare per le aree marine protette esiste un modello italiano già sperimentato in tutto il mondo che potrà essere confermato.

3.2. Cites

Un'altra causa della perdita di biodiversità a livello mondiale è determinata dal commercio internazionale di specie minacciate della flora e della fauna. A tale proposito il Piano di Azione della conservazione dei giardini botanici internazionali (Botanic Gardens Conservation International, BGCI) ha pubblicato nel 1994 la prima edizione del Manuale della CITES (Convention on International Trade of Endangered Species of Wild Fauna and Flora, Convenzione sul Commercio Internazionale di Specie Minacciate della Fauna e della Flora Selvatica) per gli orti botanici e, nel 2007, la seconda edizione.

Lo scopo della CITES, che attualmente regola il commercio di circa 30.000 specie vegetali e 5.600 animali è quello di proteggere le specie animali e vegetali dal sovra–sfruttamento causato dal commercio internazionale, assicurandone la sostenibilità attraverso i meccanismi di controllo della raccolta di specie selvatiche, anche tenendo in considerazione la sussistenza delle popolazioni locali. La cooperazione fra il Segretariato CITES e la BGCI è anche finalizzata a recuperare il ritardo nell'applicazione della CITES per le piante rispetto a quella per gli animali, attraverso un maggior numero di informazioni scientifiche relative alle specie vegetali.

La BGCI ha sottolineato il ruolo internazionale della CITES, mettendo in evidenza le procedure e il contributo dei giardini botanici all'applicazione delle normative. Le strategie future della CITES sono mirate al miglioramento della Convenzione per la sostenibilità del commercio internazionale di piante e animali selvatici.

3.3. Le Liste Rosse

Il *Libro Rosso delle Piante d'Italia* (Conti *et al.*, 1992) costituisce il primo riferimento generale per i *taxa* minacciati a livello nazionale, e per ogni entità veniva riportata la distribuzione italiana su scala regionale. In seguito (1997) Conti *et al.* hanno pubblicato la *Lista Rossa Regionale della Flora d'Italia*, che contiene la categorizzazione a livello regionale secondo l'aggiornamento delle categorie IUCN (1994). Nuove Liste Rosse sono state stilate a livello locale (Trentino, dove però sono stati utilizzati i criteri del 1994, Belluno, Alto Adige). Nel 2008 soltanto 38 specie

vegetali italiane risultavano inserite nella IUCN Red List of Threatened Species (http://www.iucnredlist.org), delle quali 10 risultavano menzionate tra le TOP-50 del Mediterraneo. Accanto a queste Liste Rosse sono stati prodotti altri elenchi di *taxa* importanti per la conservazione della flora italiana, anche utilizzando criteri di valutazione diversi da quelli IUCN (Pignatti *et al.*, 2001; Scoppola e Spampinato, 2005; Marconi, 2007). Nel 2010 si è conclusa la fase di valutazione secondo i criteri IUCN delle specie delle zone umide del Bacino del Mediterraneo, in collaborazione con la IUCN, che ha portato alla valutazione di 473 *taxa* (www.iucnredlist.org/initiative/mediterranean).

Tuttavia ai fini della conservazione del patrimonio floristico italiano il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), considerando che il territorio italiano è caratterizzato da una flora vascolare fra le più ricche d'Europa, ha ribadito la necessità di avviare azioni coordinate per la produzione di assesment a scala nazionale e, nel 2010, ha incaricato la Società Botanica Italiana (SBI) di realizzare una Lista Rossa Nazionale, redatta secondo i criteri internazionali standard (IUCN 2001). Il progetto include tutte le Policy Species della flora nazionale, ovvero le specie italiane inserite negli Allegati della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e quelle della Convenzione di Berna e un contingente di altri *taxa* potenzialmente a rischio in quanto propri di habitat in forte regressione (aree umide e ambienti costieri). I risultati ottenuti sono riportati in dettaglio nella "Lista Rossa della Flora Italiana" edita dal MATTM nel 2013 (http:/www.governo.it/blackoffice/allegati/71184-8693.pdf). Tale Lista Rossa include valutazioni relative a 396 *taxa*, di cui 202 policy species e 194 entità minacciate di piante vascolari e non della flora italiana. Complessivamente il 66% dei *taxa* valutati è rientrato in una categoria di rischio e quattro entità sono risultate estinte.

3.4. Convenzioni

3.4.1. *Convenzione di Parigi*

La *Convenzione di Parigi*, siglata nel 1950 ed entrata in vigore il 17 gennaio 1963, ha l'obiettivo di proteggere gli uccelli viventi allo stato selvatico durante il loro periodo di riproduzione e di migrazione, per tutte le specie e durante tutto l'anno, per le specie minacciate di estinzione e per quelle di interesse scientifico. La convenzione sostituisce e perfeziona la Convenzione per la Protezione degli Uccelli Utili all'Agricoltura, firmata a Parigi nel 1902 da 12 Stati Europei. È stata ratificata in Italia con la Legge 24 novembre 1978, n. 812 (Gazzetta ufficiale 23 dicembre 1978 n. 357).

3.4.2. *Convenzione di Ramsar*

La Convenzione internazionale relativa alle zone umide di importanza internazionale, soprattutto gli habitat degli uccelli acquatici, è un atto firmato a Ramsar (Iran) il 2 febbraio 1971 da un gruppo di Paesi, Istituzioni scientifiche ed Organizzazioni internazionali partecipanti alla Conferenza Internazionale sulle Zone Umide e gli Uccelli Acquatici, promossa dall'Ufficio Internazionale per le Ricerche sulle Zone Umide e sugli Uccelli Acquatici (IWRB – International Wetlands and Waterfowl Research Bureau), con la collaborazione della IUCN e del Consiglio Internazionale per la Protezione degli Uccelli (ICBP – International Council for bird Preservation). Tale Convenzione fornisce il quadro per le azioni e la cooperazione internazionale per la conservazione e l'uso razionale delle zone umide e delle loro risorse. È l'unico trattato internazionale sull'ambiente che si occupa di questo particolare ecosistema, considerando che i Paesi membri della Convenzione coprono tutte le regioni geografiche del pianeta. Obiettivo della Convenzione è anche quello dell'uso razionale delle zone umide, definito come "mantenimento della loro funzione ecologica, raggiunto attraverso l'attuazione di approcci ecosistemici, nel contesto di uno sviluppo sostenibile". Le zone umide sono tra gli ambienti più produttivi al mondo e sostengono alte concentrazioni di specie di uccelli, mammiferi, rettili, anfibi, pesci e invertebrati. Sono quindi importanti depositi di materiale genetico.

3.4.3. *Convenzione di Washington*

La *Convenzione di Washington* è relativa al commercio internazionale delle specie di fauna e flora selvatiche minacciate di estinzione (CITES, Convention on International Trade of Endangered Species).

La CITES è stata redatta a seguito di una risoluzione adottata nel 1973 durante una riunione dei membri della IUCN. Il testo della Convenzione è stato concordato in un incontro dei rappresentanti di 80 Paesi a Washington il 3 marzo 1973 e la Convenzione è entrata in vigore il 1 luglio 1975. È stata ratificata in Italia con la legge n° 874 del 19/12/1975 ed è attualmente disciplinata dal Regolamento CE 338/97. Gli Stati che volontariamente hanno accettato di essere vincolati dalla Convenzione sono noti come Parti (175 al gennaio 2009). Anche se la CITES è giuridicamente vincolante per le Parti, tuttavia non sostituisce le leggi nazionali ma fornisce un quadro di riferimento normativo, che ognuna delle Parti deve convalidare attraverso la propria legislazione nazionale. Gli elevati livelli di sfruttamento e commercializzazione di alcune specie animali e vegetali e la perdita di habitat possono determinare l'estinzione delle specie wild. Inoltre anche se molte specie selvatiche in commercio non sono a rischio è importante garantire la sostenibilità del commercio al fine di salvaguardare le risorse per le generazioni future.

3.4.4. *Convenzione di Berna*

La *Convenzione di Berna* riguarda la conservazione della flora e della fauna selvatiche e degli habitat naturali, con particolare attenzione alle specie minacciate e vulnerabili, incluse quelle migratorie. Aperta alla firma degli Stati Membri del Consiglio d'Europa e degli Stati non membri che hanno partecipato alla sua elaborazione e dell'Unione Europea il 19 settembre 1979 a Berna, è entrata in vigore il 1 giugno 1982. L'Unione Europea ne ha adottato i principi ed il quadro di riferimento attraverso le Direttive Habitat ed Uccelli. L'Italia ha ratificato la Convenzione con la legge n. 503 del 5 agosto 1981.

La Convenzione include 4 allegati: specie vegetali strettamente protette (I), specie animali strettamente protette (II), specie animali protette (III), strumenti e metodi di uccisione, cattura o altro tipo di sfruttamento vietati (IV). La Convenzione è uno strumento giuridico internazionale vincolante in materia di conservazione della natura, che copre gran parte del patrimonio naturale del Continente Europeo e si estende ad alcuni Stati dell'Africa. Le Parti firmatarie della Convenzione s'impegnano ad adottare tutte le misure idonee a garantire la conservazione degli habitat della flora e fauna, promuovendo

anche misure contro l'inquinamento, l'educazione e la diffusione di informazioni di carattere generale sulla necessità della conservare. La Convenzione ha un Comitato permanente in cui le Parti sono rappresentate dai loro delegati e il cui compito è quello di monitorare le disposizioni della presente Convenzione e apportare modifiche delle appendici in cui sono specificate le specie protette.

3.4.5. *Convenzione di Rio de Janeiro*

La Convenzione sulla diversità biologica (CBD, acronimo dell'inglese Convention on Biological Diversity) è un Trattato internazionale adottato nel 1992 a Nairobi (Kenya) e ratificato da 192 Paesi e dall'Unione Europea. Il recepimento della Direttiva in Italia è avvenuto nel 1997, attraverso il Regolamento D.P.R. dell'8 settembre 1997 n. 357, modificato ed integrato dal D.P.R. 120 del 12 marzo 2003. La Direttiva persegue tre obiettivi: la conservazione della diversità biologica, l'uso sostenibile dei componenti della diversità biologica e la giusta ripartizione dei benefici derivanti dall'utilizzo delle risorse genetiche. La Convenzione è stata aperta alla firma dei Paesi durante il Summit mondiale dei capi di Stato a Rio de Janeiro nel giugno 1992 insieme alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Cimate Change o FCCC) e alla Convenzione contro la desertificazione.

Uno dei principali accordi adottati a Rio è stata la Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD), entrata in vigore il 29 Dicembre 1993 e a cui hanno aderito 193 Parti. La Convenzione considera la biodiversità a tutti i livelli, da quello ecosistemico, a quello di specie e a quello delle risorse genetiche. L'organo di governo della CBD è la Conferenza delle Parti (COP), cioè tutti i Governi (o Parti) che hanno ratificato il Trattato e che si riuniscono ogni due anni per esaminare i progressi compiuti, definire le priorità e proporre piani di lavoro. Nell'aprile 2002, le Parti si erano impegnate a raggiungere entro il 2010 una riduzione significativa del tasso attuale di perdita della biodiversità, in modo da assicurare la continuità dei suoi usi vantaggiosi attraverso l'uso sostenibile della biodiversità e la ripartizione giusta ed equa dei benefici derivanti dall'utilizzo delle risorse genetiche. Tale obiettivo era stato approvato dal Vertice Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile e dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ed era stato accolto come

un nuovo obiettivo nel quadro dei Millennium Development Goals. In occasione della 10ª riunione a Nagoya, in Giappone, nell'ottobre 2010, la Conferenza delle Parti della CBD (COP) ha adottato un nuovo Piano Strategico con nuovi obiettivi per il periodo post–2010.

3.4.6. *Direttiva Habitat*

La *Direttiva Habitat* (Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992) è una Convenzione per la conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatica nel territorio europeo degli Stati Membri al quale si applica il trattato (art 2). La Direttiva Habitat e la Direttiva Uccelli costituiscono il cuore della politica comunitaria in materia di conservazione della biodiversità e sono la base legale su cui si fonda Natura 2000. Per il raggiungimento di questo obiettivo la Direttiva stabilisce misure volte ad assicurare il mantenimento e/o il ripristino degli habitat e delle specie di interesse comunitario elencati nei suoi allegati. La Direttiva è costruita intorno alla Rete Ecologica Natura 2000 ed è mirata alla conservazione di habitat e di specie elencate rispettivamente negli allegati I e II e al regime di tutela delle specie elencate negli allegati IV e V. La Direttiva stabilisce norme per la gestione dei siti Natura 2000 e per la valutazione d'incidenza (art 6), per il finanziamento (art 8), il monitoraggio e l'elaborazione di rapporti nazionali sull'attuazione delle disposizioni della Direttiva (articoli 11 e 17) e il rilascio di eventuali deroghe (art. 16). Riconosce inoltre l'importanza degli elementi del paesaggio che svolgono un ruolo di connessione ecologica per la flora e la fauna selvatiche (art. 10).

3.4.7. *Protocollo di Kyoto*

Il *Protocollo di Kyoto* è un trattato internazionale iniziato con i negoziati della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, (United Nations Framework Convention on Climate Change), adottata nel 1992 a New York da 150 Paesi e presentata alla Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development), tenutosi a Rio de Janeiro sempre nel 1992.

Il Protocollo è stato sottoscritto a Kyoto l'11 dicembre 1997 ed è entrato in vigore nel 2005, dopo la ratifica della Russia. Nell'accordo i Paesi industrializzati si impegnavano a ridurre, per il periodo 2008–2012, il totale delle emissioni di gas ad effetto serra (biossido di carbonio, CO_2, il metano, CH_4, protossido di azoto, N_2O, idrofluorocarburi, HFC, perfluorocarburi, PFC e esafluoro di zolfo, SF_6) almeno del 5% rispetto ai livelli del 1990. Questi impegni, giuridicamente vincolanti, avrebbero dovuto produrre una reversione storica della tendenza ascendente delle emissioni che tali Paesi hanno da circa 150 anni, proponendo una serie di mezzi di azione, quali rafforzare o istituire politiche nazionali di riduzione delle emissioni (miglioramento dell'efficienza energetica, promuovere forme di agricoltura sostenibili, sviluppare fonti di energia rinnovabili, ecc.) e cooperare con le altre Parti contraenti (scambi di esperienze o di informazioni, coordinamento delle politiche nazionali attraverso i diritti di emissione, l'attuazione congiunta e il meccanismo di sviluppo pulito). Nel dicembre 2012, nell'ambito di un incontro a Doha (Doha Climate Gateway), l'Unione Europea (con il voto contrario della Russia), la Svizzera, la Norvegia e l'Australia, si sono accordati per una estensione del protocollo fino al 2020.

Il Protocollo di Kyoto concerne le emissioni di gas ad effetto serra, quali il biossido di carbonio (CO_2), il metano (CH_4), il protossido di azoto (N_2O), i idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) e l'esafluoro di zolfo (SF_6) e rappresenta un importante passo avanti nella lotta contro il riscaldamento planetario. Globalmente, gli Stati inclusi nell'allegato I della Convenzione Quadro (ovvero i Paesi industrializzati) si impegnavano a ridurre le loro emissioni di gas ad effetto serra nel periodo 2008–2012 di almeno il 5 % rispetto ai livelli del 1990. Per raggiungere questi obiettivi il Protocollo proponeva una serie di mezzi di azione:

- rafforzare o istituire politiche nazionali di riduzione delle emissioni (miglioramento dell'efficienza energetica, promuovere forme di agricoltura sostenibili, sviluppo di fonti di energia rinnovabili, ecc.);
- cooperare con le altre Parti contraenti (scambi di esperienze o di informazioni, coordinamento delle politiche nazionali attraverso i diritti di emissione, l'attuazione congiunta e il meccanismo di sviluppo pulito).

3.4.8. *Rete Natura 2000*

La Rete Natura 2000 è il principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità. Si tratta di una Rete ecologica diffusa su tutto il territorio dell'Unione, istituita ai sensi della Direttiva 92/43/CEE Habitat, per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciati o rari a livello comunitario. La Rete Natura 2000 è costituita dai Siti di Interesse Comunitario (SIC), identificati dagli Stati Membri secondo quanto stabilito dalla Direttiva Habitat, che vengono successivamente designati quali Zone Speciali di Conservazione (ZSC) e comprende anche le Zone di Protezione Speciale (ZPS), istituite ai sensi della Direttiva 2009/147/CE Uccelli, concernente la conservazione degli uccelli selvatici.

Le aree che compongono la Rete Natura 2000 non sono Riserve rigidamente protette dove le attività umane sono escluse, poichè la Direttiva Habitat intende garantire la protezione della natura tenendo anche conto delle esigenze economiche, sociali e culturali, nonché delle particolarità regionali e locali (Art. 2). Soggetti privati possono essere proprietari dei Siti Natura 2000, assicurandone una gestione sostenibile sia dal punto di vista ecologico che economico.

La Direttiva riconosce il valore di tutte quelle aree nelle quali la presenza dell'uomo e delle sue attività tradizionali ha permesso il mantenimento di un equilibrio tra attività antropiche e natura. Alle aree agricole, per esempio, sono legate numerose specie animali e vegetali rare e minacciate, per la cui sopravvivenza è necessaria la prosecuzione e la valorizzazione delle attività tradizionali, come il pascolo o l'agricoltura non intensiva. Un altro elemento innovativo è il riconoscimento dell'importanza di alcuni elementi del paesaggio che svolgono un ruolo di connessione per la flora e la fauna selvatiche. Gli Stati Membri sono invitati a mantenere, o all'occorrenza sviluppare, tali elementi per migliorare la coerenza ecologica della Rete Natura 2000.

In Italia i SIC, le ZSC e le ZPS coprono complessivamente circa il 19% del territorio terrestre nazionale e quasi il 4% di quello marino. In particolare sono stati determinati 2310 SIC, 272 dei quali sono stati designati quali ZSC, e 610 Zone di Protezione Speciale (ZPS); di questi, 335 sono siti di tipo C, ovvero SIC/ZSC coincidenti con ZPS.

Il processo che porta alla designazione delle Zone Speciali di Conservazione (ZSC) si articola in tre fasi:

1) Secondo i criteri stabiliti dall'Allegato III della Direttiva Habitat, ogni Stato Membro individua siti – denominati Siti di Importanza Comunitaria proposti (pSIC) – che ospitano habitat e specie elencati negli Allegati I e II della Direttiva. In questi Allegati alcuni habitat e specie vengono ritenuti prioritari per la conservazione della natura a livello europeo e sono contrassegnati con un asterisco. Il processo di scelta dei siti è scientifico e, per facilitare l'individuazione degli habitat, la Commissione Europea ha pubblicato un Manuale di Interpretazione come riferimento per i rilevatori. I dati vengono trasmessi alla Commissione Europea attraverso un Formulario Standard compilato per ogni sito e completo di cartografia.
   Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare si è dotato di un Manuale nazionale di interpretazione degli habitat di supporto per l'identificazione degli habitat della Direttiva relativamente al territorio italiano.
2) Sulla base delle liste nazionali dei pSIC la Commissione, in base ai criteri di cui all'Allegato III (fase 1) e dopo un processo di consultazione con gli Stati Membri, adotta le liste dei Siti di Importanza Comunitaria (SIC), una per ogni regione biogeografica in cui è suddivisa l'Unione.
3) Una volta adottate le liste dei SIC, gli Stati Membri devono designare tutti i siti come *Zone Speciali di Conservazione* il più presto possibile e comunque entro il termine massimo di sei anni, dando priorità ai siti più minacciati e/o di maggior rilevanza ai fini conservazionistici.

In Italia l'individuazione dei pSIC è di competenza delle Regioni e delle Province Autonome, che trasmettono i dati al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, organizzati secondo il Formulario Standard europeo e completi di cartografie. Il Ministero, dopo una verifica della completezza e coerenza dei dati, trasmette la banca dati e le cartografie alla Commissione.

I SIC, in seguito alla definizione da parte delle Regioni delle misure di conservazione sito specifiche, habitat e specie specifiche, vengono

designati come Zone Speciali di Conservazione, con decreto ministeriale adottato d'intesa con ciascuna Regione e Provincia autonoma interessata.

Per i siti individuati ai sensi della Direttiva Uccelli la procedura è più breve. Tali siti vengono designati direttamente dagli Stati Membri come Zone di Protezione Speciale (ZPS) ed entrano automaticamente a far parte della Rete Natura 2000. L'identificazione e la delimitazione delle ZPS si basa interamente su criteri scientifici ed è mirata a proteggere i territori più idonei in numero e superficie alla conservazione delle specie elencate nell'Allegato I e di quelle migratorie non elencate che ritornano regolarmente. I dati sulle ZPS vengono trasmessi alla Commissione attraverso l'uso degli stessi Formulari Standard utilizzati per i pSIC, completi di cartografie. La Commissione valuta se i siti designati sono sufficienti a formare una rete coerente per la protezione delle specie. In caso di insufficiente designazione di ZPS da parte di uno Stato la Commissione può attivare una procedura di infrazione.

3.5. I giardini botanici

I giardini botanici assolvono a funzioni scientifiche e didattiche. Fra le funzioni scientifiche è primaria la conservazione di esemplari vegetali, coltivati in serra o all'aperto, con tecniche specifiche che consentono di mantenere nel corso del tempo le caratteristiche strutturali e funzionali e la capacità riproduttiva espresse nei luoghi di origine.

Nel mondo ci sono circa 1700 giardini botanici diversi per le dimensioni, le specie coltivate e le funzioni (didattica, ricerca e conservazione). Nell'Unione Europea ce ne sono più di 400, che coltivano più di 50.000 specie vegetali ed accolgono più di 50 milioni di visitatori ogni anno e sono la via principale attraverso la quale la popolazione europea ha accesso alle informazioni sulla biodiversità. Fra i più grandi giardini botanici nel mondo c'è il Royal Botanic Garden a Kew, vicino a Londra, che si estende per una superficie di 121 ha. L'Italia è il Paese con il maggior numero di giardini botanici (104). Tuttavia in Italia si differenziano i giardini botanici, con finalità principalmente ricreative, e gli orti botanici, che possiedono documentate collezioni di piante la maggior parte delle quali rare, a rischio di estinzione o estinte in natura. Gli orti botanici svolgono la ricerca e coltivano gli

esemplari vegetali, facendo in modo che conservino nel corso del tempo le caratteristiche strutturali e riproduttive espresse nei luoghi di origine.

Il primo orto botanico in Italia è stato fondato a Pisa nel 1544 e più del 30% degli orti botanici sono centri universitari.

La necessità di un collegamento diretto fra le ricerche condotte nell'ambito della conservazione è stata anche indicata dalla Global Taxonomy Initiative (GTI), che ha sottolineato il ruolo chiave svolto dai giardini botanici, come fonte di dati scientifici e come strutture specializzate nella propagazione, coltivazione e potenziale reintroduzione delle specie negli ambienti perturbati, o per aumentare il numero di individui di popolazioni di specie rare, assicurando quindi un uso sostenibile della biodiversità. In tale contesto nella gestione dei giardini botanici si dovrebbe considerare prioritario il mantenimento di collezioni di piante rare o soggette a caratteri di rischio, in accordo con il Piano di Azione del Botanic Gardens Conservation International (BGCI). Tale Piano, che è stato concepito per collegare i giardini

Figura 3.2. L'Orto Botanico del Dipartimento di Biologia Ambientale dell'Università Sapienza di Roma.

botanici dell'Unione Europea in una rete globale di cooperazione, è finalizzato alla conservazione e alla diffusione delle informazioni sulle strategie della conservazione.

I giardini botanici possono contribuire in modo determinante alla protezione delle specie e dei *taxa* minacciati di estinzione e possono diventare Centri di eccellenza per l'accoglienza del materiale vegetale sequestrato dalle autorità competenti (CITES), che potrebbe essere utilizzato per arricchire le collezioni delle Banche del Germoplasma, ovvero quelle strutture che conservano nel lungo tempo le spore, i pollini, i semi e i tessuti vegetali, attraverso protocolli standardizzati.

In tale contesto i giardini botanici possono avere un ruolo attivo per l'applicazione della Convenzione CITES attraverso l'opera di sensibilizzazione delle popolazioni, la conservazione *ex situ* del germoplasma delle specie spontanee a rischio di estinzione, l'attenzione posta nelle leggi che regolano il commercio nei Paesi che forniscono il materiale per la coltivazione e attraverso il controllo dell'elenco delle specie incluse nelle Appendici. In particolare l'Appendice I della CITES riguarda le specie minacciate di estinzione per le quali è vietato il commercio internazionale, l'Appendice II l'elenco delle specie che

Figura 3.3. Giovane esemplare di *Wollemia nobilis* W.G.Jones K.D.Hill & J.M.Allen, coltivata presso l'Orto Botanico di Roma. Questa specie era ritenuta estinta fino al 1994, quando fu rinvenuta in una forra, in Australia, nel Wollemi National Park. È stata riprodotta in un numero limitato di esemplari, alcuni dei quali sono stati acquistati dai giardini botanici e dagli Istituti di Ricerca.

non sono minacciate di estinzione, ma che potrebbero esserlo se prosegue il commercio incontrollato e l'Appendice III l'elenco delle specie che sono localmente minacciate a causa dello sfruttamento commerciale e quindi soggette a controlli in alcuni Paesi. Inoltre i giardini botanici possono fornire l'aggiornamento tassonomico relativo alle specie in Appendice e caratterizzare gli habitat di riferimento (Gratani, 2010).

3.6. Strategie di conservazione

Si sottolinea l'importanza dell'informazione sull'uso sostenibile della biodiversità, ovvero sulla conservazione delle specie spontanee, le cui caratteristiche genetiche sono il frutto del lungo processo evolutivo, al contrario di specie geneticamente realizzate in laboratorio, di cui non è possibile stabilire la capacità adattativa in risposta alla variazione dei fattori di perturbazione.

Le strategie per la conservazione della biodiversità vegetale rientrano in due tipologie. Attraverso la conservazione *in situ* si cerca di conservare gli habitat, programmando interventi gestionali mirati, mentre la conservazione *ex situ* rappresenta un valido sostegno soprattutto dove non è possibile fornire una sicura protezione *in situ*.

Figura 3.4. *Gymnocalycium paraguayense* (Shumann) Shutz, una cactacea inserita nella Red List della IUCN con la categoria di rischio VU (Vulnerabile).

Nel 1987 è stata istituita l'Unione dei giardini botanici Europei allo scopo di realizzare strategie di azione comune, espresse nel Piano di Azione degli orti botanici dell'Unione Europea, fra cui quella della conservazione di specie a rischio di estinzione *ex situ*. L'Unione Europea aveva raccomandato di conservare entro il 2010 l'80% delle specie a rischio. Il BGCI (Botanic Garden Conservation International) è la più importante Organizzazione a livello mondiale di collegamento fra gli orti botanici, che fornisce periodiche indicazioni sulle strategie di conservazione.

La conservazione *ex situ* è operata principalmente da Istituzioni scientifiche quali le Banche del Germoplasma (più di 250 nel mondo e 100 in Europa), centri altamente specializzati, finalizzati a conservare nel tempo i semi, il polline, le spore e i meristemi delle specie vegetali, in particolare di quelle a rischio. Le prime Banche sono state realizzate negli anni '70 in Gran Bretagna). Nelle Banche del Germoplasma i semi raccolti nell'ambiente naturale vengono trattati e crioconservati e quelli mantenuti a –20 °C possono rimanere vitali per più di 200 anni.

Nel 2006 è stata costituita la RIBES, la Rete Italiana delle Banche del germoplasma per la conservazione *ex situ* della flora spontanea

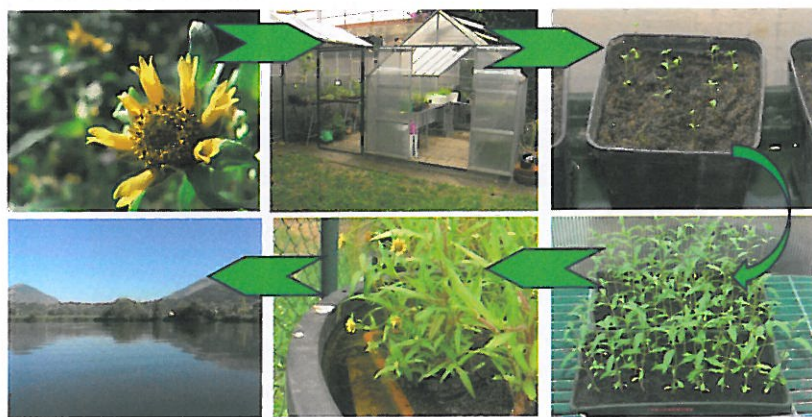



Figura 3.5. Esperimento di reintroduzione di *Bidens cernua L.* nel suo ambiente naturale (Lago di Posta Fibreno, Frosinone, Italia), utilizzando individui riprodotti *ex situ* da semi wild (Gratani *et al.* 2009). *Bidens cernua* è una specie nitrofila, distribuita in Europa, Asia e Nord America, segnalata in Italia nelle Regioni del centro–nord e inclusa nelle Liste Rosse regionali della Flora Italiana per il Lazio (*status* CR).

italiana, a cui aderiscono 18 nodi (Istituzioni) che rappresentano le seguenti regioni: Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Liguria, Toscana, Marche, Lazio, Abruzzo, Molise, Basilicata, Sardegna e Sicilia. RIBES è il punto di riferimento per la conservazione della flora spontanea italiana.

Il Royal Botanic Garden a Kew, vicino a Londra, è uno dei giardini botanici più grandi, che si estende per una superficie di 121 ha. Il Kew Garden, alla fine degli anni '90, ha varato un progetto denominato Millennium Seed Bank, con lo scopo di conservare il germoplasma di tutte le specie presenti nel Regno Unito (obiettivo già raggiunto al 90%) ed il 10% di quello relativo a tutte le piante superiori del pianeta entro il 2010. Attualmente nella sua Banca sono conservati 700 milioni di semi, che rappresentano 14.000 specie wild di 126 diversi Paesi nel mondo.

Considerando che oltre l'80% dei cittadini europei vive in aree urbane, i giardini botanici possono essere utilizzati come possibile mezzo educativo e di diffusione della cultura scientifica, nell'atto stesso della fruizione, contribuendo alla sensibilizzazione delle nuove generazioni verso la conservazione della biodiversità.

Attraverso una politica di gestione attenta e mirata è affidato alle Istituzioni scientifiche il compito di diffondere informazioni sulle specie, sui loro ambienti di provenienza e sull'importanza della conservazione. È invece affidato a noi tutti il rispetto dell'ambiente per una azione efficiente e duratura della conservazione della meravigliosa diversità biologica.

3.7. Cambiamento climatico e conservazione

Negli ultimi anni sono stati realizzati numerosi modelli per prevedere gli effetti del cambiamento climatico sulla biodiversità (Pearson *et al.*, 2004; Thomas *et al.*, 2004; Stocker e Raible, 2005; Araújo e Rahbek, 2006; Nogués–Bravo *et al.*, 2007). Tuttavia la maggior parte di essi non tiene conto delle condizioni climatiche a scala regionale o locale (Christensen *et al.*, 2007; Beniston, 2008) e non considera la capacità adattativa di specie diverse, con conseguenze negative sul grado di accuratezza delle previsioni. La misura in cui le specie potranno adattarsi al cambiamento climatico globale dipenderà principalmente dalla

quantità delle variazioni fenotipiche, dall'intensità della selezione, dalla capacità riproduttiva, dalla competizione interspecifica e dall'interazione biotica (Aitken *et al.*, 2008). Specie caratterizzate da popolazioni di ridotte dimensioni, areali frammentati e bassa capacità riproduttiva sono da considerare a rischio. Per queste ultime in particolare dovrebbero essere programmate azioni mirate di conservazione. Infatti il cambiamento climatico globale potrebbe cambiare la distribuzione delle specie (Iverson e Prasad, 1998; 2002; Bakkenes *et al.*, 2002), determinando lo spostamento degli areali, sia in latitudine che in altitudine, e tale fenomeno potrebbe essere più pronunciato alle elevate latitudini, dove l'aumento della temperatura potrebbe essere più consistente rispetto alle zone più vicine all'equatore (Parmesan, 2006). Si prevede che l'Europa meridionale risentirà in maniera evidente degli effetti del cambiamento climatico (IPCC, 2007).

L'indagine svolta nell'ambito del progetto CLIMAGRI (Cambiamenti Climatici e Agricoltura (Esposito *et al.*, 2006) sulle variazioni climatiche intercorse in Italia negli ultimi 140 anni, ha evidenziato variazioni significative della temperatura e delle precipitazioni. In particolare è stato osservato un aumento della temperatura dell'ordine di 1 °C per secolo per tutte le regioni climatiche (Area Nord–Ovest, Area Nord–Est, Area Pianura Padana, Area Centro, Area Sud–Est, Area Sud–Ovest), un decremento di circa il 5% delle precipitazioni per secolo e un aumento significativo delle precipitazioni piovose più intense negli ultimi decenni, a fronte di una diminuzione generale della quantità di pioggia totale annua. Inoltre, è stato rilevato un aumento dei periodi di aridità a partire dal decennio 1971–1980.

Le indagini svolte nell'ambito dell'accordo di Programma ENEA Ministero Ambiente, dai ricercatori del progetto Speciale Clima Globale dell'ENEA ai fini della Terza Comunicazione Nazionale dell'Italia alle Nazioni Unite (UNFCCC, 2002) e relative all'analisi delle serie storiche italiane, per il periodo 1865–1996 indicano che:

— le temperature massime e minime mensili sono aumentate in modo diverso nelle diverse regioni, ma soprattutto fra Italia settentrionale e l'Italia centro–meridionale.
— la temperatura massima è aumentata nel periodo di osservazione (1865–2000) di circa 0.6 °C nelle regioni del nord Italia e di 0.8 °C nelle regioni del centro–sud.

— la temperatura minima è aumentata di circa 0.4 °C nelle regioni del nord e 0.7° nel centro–sud.
— l'inverno è la stagione nella quale le temperature massime e minime sono aumentate maggiormente in tutte le regioni italiane.
— per le regioni dell'Italia centro–meridionale, a partire dal 1930, si è riscontrata inoltre una tendenza ad progressivo aumento della evapotraspirazione e, di conseguenza, dei processi di aridità, a causa della concomitanza sia dell'incremento delle temperature, sia della progressiva riduzione delle precipitazioni, anche se le informazioni sulle precipitazioni sono da ritenersi meno affidabili nel periodo compreso fra il 1930 ed il 1950. Il quadro generale degli andamenti delle temperature osservate in Italia mostra caratteristiche analoghe a quelle medie osservate a livello globale, ma con accentuazione dei fenomeni di riscaldamento e dei processi di aridità per le regioni centro–meridionali.

Per quanto riguarda le variazioni delle precipitazioni le serie storiche italiane più affidabili in questo campo non risalgono al secolo scorso, come nel caso della temperatura, ma sono più recenti e riguardano settantacinque serie di precipitazioni giornaliere relative al periodo dal 1951–1996, dalle quali si evidenzia che in questi ultimi 50 anni circa:

— le precipitazioni totali sono diminuite in tutto il territorio nazionale con maggiori riduzioni nelle regioni centro–meridionali, rispetto a quelle settentrionali
— il numero complessivo dei giorni di pioggia in tutto il territorio nazionale è diminuito di circa 14% senza significative variazioni fra regioni settentrionali e regioni centro–meridionali
— a livello stagionale si riscontra, in generale e per tutte le regioni, che la riduzione dei giorni di pioggia è molto più elevata nella stagione invernale rispetto alle altre stagioni
— a livello stagionale si riscontra, inoltre, una tendenza generale e per tutte le regioni, all'aumento dell'intensità delle precipitazioni e ad una diminuzione della loro durata
— l'aumento dei fenomeni siccitosi riguarda tutte le regioni italiane, ma la persistenza dei periodi di siccità è diversamente

distribuita: nelle regioni settentrionali la persistenza è maggiore in inverno, mentre nelle regioni meridionali la persistenza è maggiore in estate.

Gli andamenti osservati in Italia sono solo parzialmente analoghi agli andamenti osservati a livello globale. Ciò è dovuto alla particolare climatologia della regione mediterranea e all'evoluzione a più a grande scala che sta subendo tale climatologia. Infatti, gli studi in corso mostrano una variazione della frequenza e della persistenza dei cicloni extratropicali sul bacino del Mediterraneo ed una accelerazione della velocità e della intensità del ciclo idrologico mediterraneo complessivo.

Per il Bacino del Mediterraneo si ipotizza un aumento della temperatura di 2–4 °C nei prossimi cento anni (Palutikof e Wigley, 1996; Rambal e Hoff 1998; IPCC 2007) e un cambiamento nella distribuzione delle precipitazioni, con un aumento degli eventi piovosi di elevata intensità (De Luís *et al.*, 2001). L'influenza del cambiamento climatico sulla distribuzione delle specie mediterranee e sul loro ciclo fenologico è stata documentata da Parmesan (2006), Gratani *et al.* (2003), Pesoli *et al.* (2003) e Bonito *et al.* (2011), che hanno evidenziato l'importanza della durata e dell'intensità del periodo di aridità. Ad esempio è stato sottolineato che ecotipi di *Quercus ilex* L. provenienti dal sud Italia presentano tratti morfologici e fisiologici che ne giustificano la maggiore resistenza all'aridità, rispetto ad ecotipi provenienti da zone poste al limite nord dell'areale (Gratani *et al.*, 2003). Montoya–Oliver (1995) ha sottolineato che il declino dei boschi di leccio è rilevante soprattutto per le popolazioni geneticamente meno adattate all'aridità.

Phillyrea latifolia L., specie resistente all'aridità, caratterizzata da una elevata densità cellulare fogliare, una spessa cuticola ed una elevata sensibilità stomatica (Gratani e Bombelli, 1999; 2001), potrebbe colonizzare le aree dove diminuisce la copertura delle querce (Lloret e Siscart, 1995; Ogaya e Peñuelas, 2003). Al contrario, *Rosmarinus officinalis* L. ed *Erica multiflora* L., caratterizzate da una elevata sensibilità alla scarsa disponibilità idrica, associata ad un apparato radicale poco profondo, potrebbero essere a rischio in previsione di un aumento della lunghezza e dell'intensità del periodo di aridità (Gratani e Varone, 2004). Peñuelas e Boada (2003) hanno evidenziato come l'aumento della temperatura abbia determinato la sostituzione di *Calluna vulgaris*

(L.) Hull e *Fagus sylvatica* L. da parte di *Q. ilex*. Kraüchi (1993), Kraüchi e Kienast (1993) e Montoya–Oliver (2001) hanno ipotizzato che *F. sylvatica* e *Quercus petraea* potrebbero invadere la cintura subalpina.

Gli ecosistemi alpini sono particolarmente sensibili al riscaldamento globale a causa delle basse temperature che li caratterizzano (Körner, 1999). Studi sulla flora della regione alpina hanno mostrato come negli ultimi 50 anni le specie abbiano subito una consistente migrazione verso l'alto (Parolo e Rossi, 2008; Rossi e Gentili, 2008), con un aumento delle specie vascolari nella fascia alpina superiore e nella fascia nivale, nel periodo 1959–2005, dovuta alla migrazione in risposta al riscaldamento climatico e alla degradazione del permafrost.

La flora alpina è a rischio di estinzione sulle montagne europee soprattutto dove non c'è possibilità di risalita in quota, come sulle montagne di ridotta altezza e temperature relativamente elevate, ad esempio le Prealpi e l'Appennino settentrionale. Gli stessi Autori hanno ipotizzato il rischio di estinzione per le specie che costituiscono le popolazioni isolate nei picchi più alti dell'Appennino. Questi risultati sono in accordo al trend sottolineato da Walther *et al.* (2005) per le specie presenti nella parte svizzera dell'area di Berna e da Stanisci *et al.* (2005) per l'Appennino centrale (Parco della Maiella). Tali ricerche

Figura 3.6. *Quercus ilex* presso Nago–Torbole (Trento).

hanno permesso di individuare le specie a rischio di estinzione e di ipotizzare che i versanti esposti ad est saranno i primi ad essere interessati dall'invasione delle specie subalpine provenienti da quote inferiori.

Figura 3.7. *Quercus ilex* a Frassanito (Otranto, Italia).

Figura 3.8. *Rhododendron ferrugineum*, una specie subalpina.

Bibliografia

AITKEN S.N., WANG T., HOLLIDAY J.A., CURTIS–MCLANE S., HAMANN A. *Maintaining or moving the mosaic of diversity: Genetic conservation and climate change.* IUFRO–CTIA Joint Conference, Adaptation. Breeding and Conservation in the Era of Forest Tree Genomics and Environmental Change. Québec City, Canada, August 25–28, 2008.

ARAÚJO M.B., RAHBEK C. *How does climate change affect biodiversity?* Science 2006, 313: 1396–1397.

BAKKENES M., ALKEMADE J.R.M., IHLE F., LEEMANS R., LATOUR J.B. *Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050.* Global Change Biol. 2002, 8: 390–407.

BENISTON M. *Sustainability of the landscape of a UNESCO World Heritage Site in the Lake Geneva region (Switzerland) in a greenhouse climate.* Int. J. Climatol. 2008, 28: 1519–1524.

BONITO A., VARONE L., GRATANI L. *Relationship between acorn size and seedling morphological and physiological traits of Quercus ilex L. from different climates.* Photosynthetica, 2011, 49: 45–86.

BRAMWEL D. *How many plant species are there?* Plant Talk 2002, 28: 32–34.

CHRISTENSEN J.H., CARTER T.R., RUMMUKAINEN M., AMANATIDIS G. *Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project.* Climatic Change 2007, 81: 1–6.

CONTI F., MANZI A., PEDROTTI F. *Libro Rosso delle Piante d'Italia.* 537 pp. Ministero dell'Ambiente, Ass. Ital. per il WWF, S.B.I., Poligrafica Editrice, Roma. 1992.

CONTI F., MANZI A., PEDROTTI F. *Liste Rosse Regionali delle Piante d'Italia.* WWF Italia, Società Botanica Italiana, TIPAR Poligrafica Editrice, Camerino, 1997.

DE LUÍS M., GARCÍA–CANO M.F., CORTINA J., RAVENTÓS J., GONZÁLEZ–HIDALGO J.C., SÁNCHEZ J.R. *Climatic trends, disturbances and short–term vegetation dynamics in a Mediterranean shrubland.* For. Ecol. Manag. 2001, 147: 25–37.

DRAYTON B., PRIMACK R. *Rates of success in the reintroduction by four methods of several perennial plant species in eastern Massachusetts.* Rhodora 2000, 102: 299–331.

ESPOSITO S., EPIFANI C., SERRA C. (a cura di) *CLIMAGRI* – Cambiamenti Climatici e agricoltura – Risultati Conclusivi., UCEA, 2006, pp. 15–55.

EVINER V.T. *Plant traits that influence ecosystem processes vary independently among species.* Ecology 2004, 85: 2215–2229.

GASTON, K.J., MOUND L.A.*Taxonomy, hypothesis testing and the biodiversity crisis.* Proc. R. Soc. Lond. B. 1993, 251: 139–142.

GOVAERTS R. *How many species of seed plants are there?* Taxon 2001, 50: 1085–1090.

GRATANI L. *L'Orto Botanico di Roma.* Fratelli Palombi Editori, Roma, 2010.

GRATANI L. *Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors.* 2014. Adv. Bot. http://dx.doi.org/10.1155/2014/208747.

GRATANI L., BOMBELLI A. *Leaf anatomy, inclination, and gas exchange relationships in evergreen sclerophyllous and drought semideciduous shrub species.* Photosynthetica 1999, 37: 573–585.

GRATANI L., BOMBELLI A. *Differences in leaf traits among Mediterranean broad-leaved evergreen shrubs.* Ann. Bot. Fenn. 2001, 38: 15–24.

GRATANI L., VARONE L. *Leaf key traits of Erica arborea L., Erica multiflora L. and Rosmarinus officinalis L. co–occurring in the Mediterranean maquis.* Flora 2004, 199: 58–69.

GRATANI L., MENEGHINI M., PESOLI P., CRESCENTE M.F. *Structural and functional plasticity of Quercus ilex seedlings of different provenances in Italy.* Trees – Struct. Funct. 2003, 17: 515–521.

GRATANI L., CRESCENTE M.F., FABRINI G., BONITO A., VARONE L. *Growth analysis of reestablished population versus natural population of Bidens cernua L. Plant Biosyst.* 2009, 143: S63–68.

GRATANI L., BALDI M., BONITO A., CRESCENTE M.F., DI GIUSEPPE E., ESPOSITO S., MELONI F., PASQUI M., ROSSI G., VARONE L., VENTO D. *Cambiamento climatico e conservazione ex situ ed in situ.* 2010. In: Piotto B., Giacanelli V., Ercole S. (a cura di). La conservazione Ex Situ della Biodiversità delle Specie Vegetali Spontanee e Coltivate in Italia. Stato dell'Arte, Criticità e Azioni da Compiere. Manuali e linee guida ISPRA, 54/2010.

GRATANI L., CATONI R., PIRONE G., FRATTAROLI A.R., VARONE L. *Physiological and morphological leaf trait variations in two Apennine plant species in response to different altitudes.* Photosynthetica 2012, 50: 15–23.

GRATANI L., CRESCENTE M.F., VARONE L., GINI E., RICOTTA C., BONITO A. *Sand dune species distribution and size variations in two areas inside a natural protected area subjected to different human disturbance.* Am. J. Plant Sci. 2013, 4: 1899–1910.

GRIME J.P. *Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects.* J. Ecol. 1998, 86: 902–910.

GUERRANT JR E.O. *The value and propriety of reintroduction as a conservation tool for rare plants.* Botany 2013, 91. dx.doi.org/10.1139/cjb–2012–0239.

IPCC. *Climate Change 2007 – Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.

ISPRA. *Il ripristino degli ecosistemi marino–costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree protette.* 2009, Rapporti 100/09.

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species.* 2011, sito: www.iucnredlist.org.

IVERSON L.R., PRASAD A. *Predicting abundance for 80 tree species following climate change in the Eastern United States.* Ecol. Monogr. 1998, 68: 465–485.

IVERSON L.R., PRASAD A. *Potential redistribution of tree species habitat under five climate change scenarios in the eastern US.* Forest Ecol. Manag. 2002, 155: 205–222.

KÖRNER C. *Alpine plant life.* Springer, Heidelberg, 1999.

KRAÜCHI N. *Potential impacts of a climate change on forest ecosystems.* Eur. J. For. Pathol. 1993, 23: 28–50.

KRAÜCHI N., KIENAST F. *Modelling subalpine forest dynamics as influenced by a changing environment.* Water Air Soil Pollut. 1993, 68: 185–197.

LLORET F., SISCART D. *Los efectos demogràficos de la sequìa en poblaciones de encina.* Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 1995, 2: 77–81.

MABBERLEY D.J. *The Plant–Book. A Portable Dictionary of the Vascular Plants.* ed. 2. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.

MARCONI G. *Piante mincciate di estinzione in Italia.* Il "Libro Rosso" fotografico. Oasi Alberto Perdisa. 2007.

MAUNDER M. *Plant reintroduction: an overview.* Biodiver. Conser. 1992, 1: 51–61.

MONTOYA–OLIVER J. *Efecto del cambio climático sobre los ecosistemas forestales españoles.* Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 1995, 2: 65–76.

MONTOYA–OLIVER J. *Selvicultura y cambio climático.* Montes 2001, 64: 69–74.

MOUCHET M.A., VILLÉGER S., MASON N.W.H., MOUILLOT D. *Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules.* Funct. Ecol. 2010, 24: 867–876.

MYERS N. *Threatened biotas: "Hot spots" in tropical forests.* The Environmentalist 1988, 8: 1–20.

MYERS N., MITTERMEIER R.A., MITTERMEIER C.G., DA FONSECA G.A.B., KENT J. *Biodiversity hotspots for conservation priorities.* Nature 2000, 403: 853–858.

NOGUÉS–BRAVO D., ARAÚJO M.B., MARTINEZ–RICA J.P., ERREA M.P. *Exposure of global mountain systems to climate change.* Global Environ. Change 2007, 17: 420–428.

OGAYA R., PEÑUELAS J. *Comparative field study of Quercus ilex and Phillyrea latifolia: photosynthetic response to experimental drought conditions.* Environ. Exp. Bot. 2003, 50: 137–148.

PALUTIKOF J.P., WIGLEY T.M.L. *Developing climate change scenarios for the Mediterranean region.* In: Jeftic L., Keckes S., Pernetta J.C. (eds) Climate Change and the Mediterranean, vol. 2. Arnold, London, 1996, pp 27–56.

PARMESAN C. *Ecological and evolutionary responses to recent climate change.* Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 2006, 37: 637–69.

PAROLO G., ROSSI G. *Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps.* Basic. Appl. Ecol. 2008, 9: 100–107.

PEARSON R.G., DAWSON T.E., LIU C. *Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and land–cover data.* Ecography 2004, 27: 285–298.

PEÑUELAS J., BOADÁ M. *A global change – induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain).* Global Change Biol. 2003, 9: 131–140.

PESOLI P., GRATANI L., LARCHER W. *Responses of Quercus ilex from different provenances to experimentally imposed water stress.* Biol. Plantarum 2003, 46: 577–581.

PIGNATTI S. (a cura di). *Ecologia Vegetale,* UTET, Torino, 1995.

PIGNATTI S., MENEGONI P. E GIACANELLI V. (a cura di). Liste rosse e blu della flora italiana. ANPA, Collana Stato dell'Ambiente 1. Alcagraf srl Roma, 2001.

PURVIS A., HECTOR A. *Getting the measure of biodiversity.* Nature 2000, 405, 212–219.

RAMBAL S., HOFF C. *Mediterranean ecosystems and fire: the threats to global change.* In: Moreno J.M. (ed.) Large Forest Fires. Backuys, Leiden, The Netherlands, 1998. pp 187–213.

ROSSI G., GENTILI R. *A partnership project for a new Red List of the Italian Flora.* Plant Biosyst. 2008, 142: 302–304.

ROSSI G., MONTAGNANI C., GARGANO D., PERUZZI L., ABELI T., RAVERA S., COGONI A., FENU G., MAGRINI S., GENNAI M., FOGGI B., WAGENSOMMER R.P., VENTURELLA G., BLASI C., RAIMONDO F.M., ORSENIGO S. (eds.) *Lista Rossa della Flora Italiana. 1. Policy Species e altre specie minacciate.* Comitato Italiano IUCN e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. 2013.

SCOPPOLA A., SPAMPINATO G. (a cura di) *Atlante delle specie a rischio di estinzione.* Palombi Editori, Roma, 2005.

STANISCI A., PELINO G., BLASI C. *Vascular plant diversity and climate change in the alpine belt of the central Apennines (Italy).* Biodivers. Conserv. 2005, 14: 1301–1318.

STOCKER T.F., RAIBLE C.C. *Water cycle shifts gear.* Nature 2005, 434: 830–832.

THOMAS C.D., CAMERON A., GREEN R.E., BAKKENES M., BEAUMONT L.J., COLLINGHAM Y.C., ERASMUS B.F.N., DE SIQUEIRA M.F., GRAINGER A., HANNAH L., HUGHES L., HUNTLEY B., VAN JAARSVELD A.S., MIDGLEY G.F., MILES L., ORTEGA–HUERTA M.A., PETERSON A.T., PHILLIPS O.L., WILLIAMS S.E. *Extinction risk from climate change.* Nature 2004, 427: 145–148.

TILMAN D., KNOPS J., WEDIN D., REICH P., RITCHIE M., SIEMANN E. *The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes.* Science 1997, 277: 1300–1302.

WALTHER G.R., BEIBNER S., BURGA C.A. *Trends in the upward shift of alpine plants.* J. Veg. Sci. 2005, 16, 541–548.

Capitolo IV

Analisi della struttura della copertura vegetale e rappresentazione cartografica

A partire dall'ultimo secolo i crescenti livelli di antropizzazione hanno determinato una trasformazione del paesaggio la cui gestione necessita di metodologie idonee finalizzate alla conservazione e alla fruizione sostenibile. Il crescente interesse per le problematiche ambientali e l'attenzione dell'opinione pubblica per i problemi connessi alla salvaguardia del territorio sottolineano l'importanza di una politica di gestione del patrimonio ambientale, in particolare per le aree ad elevata valenza. Considerando che la conservazione della biodiversità è uno degli obiettivi prioritari della Comunità Scientifica Europea, nasce la

Figura 4.1. Campo Imperatore, Parco Nazionale Gran Sasso e Monti della Laga (Abruzzo).

necessità di mantenere l'equilibrio fra la conservazione (valore naturale), l'utilizzo delle risorse (valore economico) e la fruizione (qualità della vita), finalizzato alla tutela della biodiversità e alla valorizzazione del paesaggio anche in considerazione di un incremento dello sviluppo sociale ed economico. La gestione dell'ambiente diventa quindi un problema culturale, politico ed economico per la sua grande incidenza a tutti i livelli sociali.

Il paesaggio secondo Naveh e Lieberman (1984) e Forman e Godron (1986) può essere considerato come "una porzione di territorio eterogenea composta da un insieme di ecosistemi interagenti che si ripete con una struttura riconoscibile". Nell'ambito della Convenzione Europea del Paesaggio (Firenze 2000, ratificata nel Dicembre 2005) il paesaggio è stato definito come *una determinata parte del territorio il cui carattere deriva dall'unione dei fattori naturali e umani e dalle loro interrelazioni*. La visione attuale dell'Ecologia definisce il paesaggio come una concreta entità spazio–temporale, evidenziando i livelli di integrazione fra l'uomo e l'ambiente. In tale ottica il paesaggio può essere inteso come un mosaico in diversi stadi di alterazione antropica, la cui gestione necessita di metodologie idonee finalizzate alla conservazione della biodiversità.

In questi ultimi anni c'è stato un rinnovamento degli studi sugli organismi vegetali al fine di comprendere la loro capacità di adattamento e quindi la loro potenzialità, anche in considerazione del cambiamento globale. Gli organismi vegetali sono infatti in grado di occupare un territorio solo quando le condizioni climatiche ed edafiche soddisfano precise richieste nel corso delle diverse tappe del ciclo biologico, ciascuna specie mostrando strategie adattative che sono il risultato del coordinamento di processi di base. La capacità produttiva dipende dall'efficienza di utilizzo delle risorse disponibili e dalla capacità di adattamento delle specie ai cambiamenti che si verificano nell'ambiente di sviluppo, sia a breve che a lungo termine.

Il principale stimolo adattativo a cui le piante rispondono è la luce, che mostra un'ampia variazione spaziale e temporale. La luce gioca un ruolo fondamentale in tutti i processi che interessano i vegetali, come ad esempio la distribuzione degli organi nello spazio, l'inclinazione delle foglie, le caratteristiche morfologiche fogliari e gli scambi gassosi. Smith *et al.* (1983) hanno messo in evidenza come, nelle praterie di altitudine, negli acclivi esposti a Sud, l'energia totale giornaliera

sia del 41 % più elevata rispetto a quella in zone esposte a Nord. La luce, sia quantitativamente che qualitativamente, è infatti lo stimolo che determina la principale risposta adattativa delle specie. La variazione della luce ai diversi livelli di una comunità è di interesse per molteplici funzioni e gioca un ruolo fondamentale in tutti i processi che interessano la copertura vegetale, come ad esempio la distribuzione degli organi vegetali nello spazio, l'inclinazione delle foglie, le caratteristiche morfologiche fogliari e l'attività fotosintetica. Accurate stime della radiazione luminosa sono fondamentali per costruire modelli di produttività.

Anche la temperatura ha una notevole influenza sulla struttura e sulla produttività dei vegetali, poiché incide fortemente sull'attività fotosintetica (Beadle *et al.*, 1985), che condiziona la crescita. Bliss (1956) ha messo in evidenza la stretta relazione esistente fra la temperatura fogliare ed il tasso di fotosintesi netta e Potter e Jones (1977) e Woodward (1987) la sua incidenza sul processo di fogliazione e sul tasso di espansione fogliare. Warren Wilson (1957) ha evidenziato come in ambienti di montagna il tasso di crescita più elevato si registri nelle specie di piccola taglia e in quelle in cui permane la necromassa (biomassa morta che resta sulla pianta), che determina al suo interno una

Figura 4.2. Campo Imperatore, Parco Nazionale Gran Sasso e Monti della Laga (Abruzzo).

temperatura più elevata. Di contro, l'accumulo della necromassa nei pascoli che si sviluppano in situazione pianeggiante determina una riduzione della luce trasmessa a livello del suolo, che limita la presenza delle specie di altezza ridotta (Fuls, 1991). Dove le temperature sono spesso basse per lunghi periodi nel corso dell'anno la presenza di rocce affioranti può essere una fonte addizionale di calore nelle ore di maggiore insolazione, soprattutto per le specie di taglia ridotta.

La disponibilità idrica del suolo può giocare un ruolo importante nel condizionare la composizione floristica e la produttività delle comunità vegetali (Johnson, 1993). Anche se le precipitazioni aumentano proporzionalmente con l'elevarsi della quota, non sempre la quantità di acqua disponibile può essere ottimale per l'attività vegetativa poiché, ad esempio, l'azione del vento può determinare una rapida perdita di acqua dagli strati superficiali del terreno che, se associata alla presenza di un substrato di natura calcarea, determina uno stato di stress idrico nel suolo.

La topografia contribuisce a disegnare differenze fisionomico–strutturali nelle formazioni vegetali, soprattutto in ambienti di montagna, dove le specie sono fortemente condizionate dall'esposizione e

Figura 4.3. *Crepis pygmaea* nel Parco nazionale Gran Sasso e Monti della Laga (Abruzzo).

dall'inclinazione dei versanti. Sui versanti più inclinati ad esposizione Nord, infatti alla ridotta profondità del suolo, spesso associata ad una sua scarsa evoluzione, si somma l'azione negativa del vento, che incide sull'altezza delle specie (Blackman e Wilson, 1954; Grace, 1977; Gratani *et al.*, 1999a; 2002) e sul loro tasso di crescita (Grace, 1981). In inverno il vento spazza via la neve sui pendii con elevata inclinazione, esponendo le piante alle basse temperature mentre in estate contribuisce ad accentuare le caratteristiche di aridità.

Si deve tuttavia sottolineare che anche lo stato di disturbo antropico influenza la capacità produttiva, poiché condiziona la competizione inter e intra–specifica e la capacità di riproduzione delle singole specie. Nel contesto delle azioni di conservazione della biodiversità si devono quindi considerare le alterazioni indotte dall'uomo sull'ambiente. In particolare gli elevati livelli di antropizzazione degli ultimi cento anni hanno modificato fortemente la struttura degli ecosistemi, determinando una rilevante perdita di specie, che ha raggiunto livelli tali da assumere carattere di emergenza.

I cambiamenti nella capacità di funzionamento di una comunità sono infatti mediati dal livello di disturbo antropico, che alterano l'intensità degli stress ambientali. Sebbene la letteratura relativa ne

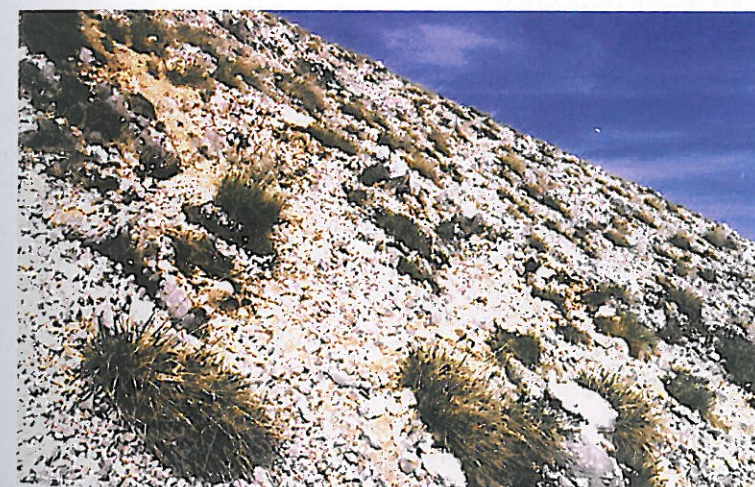



Figura 4.4. Un versante colonizzato da *Sesleria tenuifolia* Schrad. (ex *Sesleria apennina* Ujhelyi) a Campo Imperatore, nel Parco Nazionale Gran Sasso e Monti della Laga (Abruzzo).

documenti gli effetti su organismi diversi, tuttavia la scarsa conoscenza della soglia di tolleranza agli stessi rendono difficile la valutazione dell'impatto della variazione dei fattori ambientali nel lungo tempo. Inoltre, gli effetti prodotti dall'interazione di stress diversi sono accertati solo in parte, a causa della complessità delle indagini, per cui non è sempre possibile stabilire una relazione causa – effetto.

Molte aree che potenzialmente con il cambiamento climatico in atto potrebbero diventare idonee per alcune specie che riescono a migrare dai loro siti non più favorevoli, vengono tuttavia eliminate a causa della dilagante frammentazione degli habitat. Ne consegue che una delle problematiche da considerare è la mancanza di conoscenze sulla soglia di tolleranza all'impatto, soprattutto per i sistemi più fragili, che necessitano quindi di maggiori forme di tutela.

Di conseguenza il monitoraggio, in particolare nei parchi e in aree ad elevata valenza, è di fondamentale importanza per stabilire la soglia di tolleranza delle specie e dei sistemi alle perturbazioni, ed assume un ruolo di primo piano consentendo di evidenziare la capacità di risposta di quelle specie già soggette a fattori di rischio. Inoltre, variazioni nelle caratteristiche strutturali e funzionali come ad esempio l'altezza, il volume della chioma, la consistenza e il colore delle foglie possono diventare indicatori precoci dello stato di stress, consentendo di attuare idonee strategie gestionali.

Appare quindi evidente come la conoscenza della capacità adattativa e della potenzialità produttiva dei vegetali sia di fondamentale importanza per l'attuazione di idonee strategie di utilizzo del territorio, nel pieno rispetto della tutela ambientale. La produttività vegetale è infatti l'espressione finale di tutti i processi metabolici che si svolgono nelle piante e rappresenta la risultante dell'influenza dei fattori esterni sul decorso dei processi stessi. La produttività dipende dall'abilità di adattamento delle diverse specie ai cambiamenti che si verificano nell'ambiente di sviluppo, sia a breve che a lungo termine, e dalla capacità di utilizzare le risorse disponibili nei periodi favorevoli all'attività vegetativa e riproduttiva. La conoscenza delle caratteristiche strutturali fornisce una stima indicativa della produttività di una comunità, poiché riflette la sua capacità di intercettazione della luce e delle precipitazioni (Norman e Campbell, 1983; 1989).

In tale ambito l'analisi della struttura della copertura vegetale considera la distribuzione orizzontale e verticale degli organi vegetali nello

spazio e le caratteristiche morfologiche fogliari, che sono in grado di influenzare i processi di azione e reazione fra le piante ed il loro ambiente (Monsi e Saeki, 1953). In questo modo ogni pianta o ogni comunità vegetale può essere descritta da una combinazione di caratteri strutturali, morfologici e fisiologici. La struttura della copertura vegetale è inoltre in relazione alla densità degli individui, alla loro altezza, all'area basimetrica e alla superficie fogliare totale.

La struttura di un sistema forestale subisce variazioni nel corso della sua evoluzione a causa delle interazioni che si instaurano tra gli individui per la competizione dello spazio e della luce. Infatti, ad una elevata densità sono generalmente associate chiome di piccole dimensioni, mentre al contrario individui isolati che si sviluppano in condizioni ottimali, mostrano la massima potenzialità della struttura, in particolare del volume della chioma.

La dinamica delle chiome è parte integrante dello sviluppo dell'ecosistema ed i cambiamenti nell'architettura delle chiome dipendono, per brevi intervalli di tempo, dalla dinamica fogliare, e per lunghi inter-

Figura 4.5. Un castagneto misto (a sinistra) e un individuo isolato di castagno (*Castanea sativa*) (a destra), entrambi nel Parco regionale dei Castelli Romani (Lazio).

valli di tempo dalle variazioni della densità. La densità, condizionando i rapporti di competizione inter ed intraspecifici, mette in gioco le diverse strategie adattative (De Wit, 1965).

La competizione per lo spazio e per la luce controlla lo sviluppo in diametro ed in altezza e le dimensioni della corona fotosinteticamente attiva (Smith e Long, 1991; Smith *et al.*, 1991). Un modello sulla relazione struttura–produzione può essere delineato come segue: in una cenosi forestale la densità della popolazione influenza la struttura delle chiome, le cui variazioni controllano l'efficienza di crescita mediante la ripartizione e l'utilizzo dei fotosintati. Ad una elevata densità sono generalmente associate chiome di piccole dimensioni (Hamilton, 1969; Assman, 1970; Curtis e Reukema, 1970). Se si considera un individuo arboreo nel corso del processo di crescita, si può osservare che quando la corona raggiunge le massime dimensioni la sua efficienza fotosintetica diminuisce a causa dell'aumento della respirazione necessario per mantenere attiva la biomassa dei rami. Ciò è attestato dalla diminuzione del rapporto della biomassa delle foglie sulla biomassa totale della corona. Inoltre, l'ampiezza di un centro sprovvisto di foglie aumenta con la grandezza della corona, poiché i rami continuano ad allungarsi e ad ispessirsi per sostenere le foglie a distanza sempre più grande dal fusto (Jack e Long, 1991). L'aumentata respirazione, associata all'accumulo della biomassa dei rami, consuma fotosintati, che altrimenti sarebbero utilizzati per la crescita del fusto. In questo modo il dispiegare le foglie lontano dal fusto rappresenta per la pianta un costo elevato, in termini di crescita potenziale del fusto (Assman, 1970).

Le comunità sempreverdi sono un buon esempio di architettura del bosco che associa ad una complessa stratificazione chiome di elevata densità fogliare e foglie di notevole consistenza. Lungo il gradiente verticale del bosco, la densità fogliare e la consistenza fogliare diminuiscono dallo strato arboreo, all'arbustivo, all'erbaceo, adattandosi ai diversi ambienti luminosi. Un bosco misto si discosta di poco da questo modello strutturale, variando la consistenza fogliare che è più ridotta per il contributo delle specie caducifoglie.

Figura 4.6. Bosco misto di caducifoglie (a sinistra) e bosco sempreverde a *Quercus ilex* (a destra).

4.1. La biomassa vegetale

Uno dei parametri utilizzato per descrivere l'ecosistema è la biomassa vegetale, cioè la quantità di sostanza secca per unità di superficie (Singh *et al.*, 1975; Floret e le Floc'h, 1983; Roberts *et al.*, 1993).

Sono stati individuati diversi criteri per la valutazione della biomassa delle formazioni vegetali (Roberts *et al.*, 1993):

— il metodo distruttivo prevede il taglio di tutto il materiale vegetale presente nell'area di studio (Newbould, 1967; Singh *et al.*, 1975) ed è largamente applicato a cenosi non stratificate, come ad esempio prati e pascoli, mentre risulta dispendioso nel caso di cenosi arboree.
— il metodo dell'albero modello consiste nell'abbattimento di un individuo rappresentativo della popolazione e nella successiva moltiplicazione del valore del peso dell'albero campione per il numero totale di individui presenti. Questo metodo fornisce risultati soddisfacenti nel caso di cenosi forestali omogenee o

piantagioni. Un'alternativa al metodo suddetto è la metodologia che presuppone la suddivisione in classi di diametro di tutti gli individui presenti in uno stand, per poi eseguire il taglio di uno o più esemplari in ognuna delle classi individuate (Cantiani e Piussi, 1978; Gratani *et al.*, 1980; 1999b; Gratani e Crescente, 2000a). Il valore medio del peso così ottenuto viene poi moltiplicato per il numero totale di individui in ciascuna classe.

— il metodo allometrico (Kira e Shidei,1967; Kittredge, 1944) è basato su equazioni matematiche che legano fra loro il peso della pianta (o parti di essa) ad alcuni parametri facilmente rilevabili in campo, come ad esempio il diametro del tronco (Snell e Brown, 1978) e l'area basimetrica (Heller, 1971; Waring *et al.*, 1977; 1978; 1980; 1982; Katsuno e Hozumi, 1990). Tale metodo permette di ottenere una stima attendibile della biomassa.

— in campo forestale si ricorre spesso all'uso di tavole stereometriche (dendrometriche) di cubatura per stimare il peso o il volume dei boschi (Corona *et al.*, 1986). Tali tavole si basano sulla dendrometria, ovvero la scienza secondo la quale alberi della stessa specie (o assimilabili ad una medesima valenza dendrometrica), della stessa classe di diametro e/o della stessa altezza, cresciuti nel medesimo ambiente e con lo stesso trattamento selvicolturale, tendono ordinariamente a una stessa forma caratteristica. Le tavole stereometriche possono essere:

- tavole stereometriche a due entrate, che riportano il valore medio atteso della massa legnosa di un albero in funzione del diametro a 1.30 m e dell'altezza totale del fusto;
- tavole stereometriche a una entrata, che riportano il valore medio atteso della massa legnosa di un albero in funzione del diametro del fusto a 1.30 m;
- sistemi di tariffe, che sono insiemi di tavole a una entrata differenziate in funzione delle caratteristiche ipsometriche del soprassuolo forestale da cubare;
- tavole alsometriche, ossia tabelle che forniscono il volume legnoso medio atteso a ettaro di soprassuoli coetanei a densità normale, in funzione della loro età e classe di fertilità. La classe di fertilità viene stimata in base all'altezza media e all'età del soprassuolo.

La stima delle variazioni di biomassa nel tempo per gli ecosistemi boschivi può essere effettuata mediante l'analisi dell'incremento radiale del fusto su individui arborei tagliati o su carote effettuate attraverso il succhiello di Pressler.

Per le cenosi arbustive il problema è più complesso in quanto negli arbusti le relazioni suddette non sempre sono dirette come avviene nel caso degli alberi, ovvero non sempre ad un aumento del diametro o dell'altezza corrisponde un aumento proporzionale del peso. In tal caso si deve effettuare uno studio accurato per identificare il parametro (o i parametri) maggiormente esplicativo nei confronti del peso secco (Gratani *et al.*, 1981; 1982; Gratani e Crescente, 2000a).

Per quanto riguarda la vegetazione erbacea il metodo largamente utilizzato è quello diretto o distruttivo sebbene il metodo indiretto, basato sulla relazione peso e copertura della porzione epigea, sia stato utilizzato con successo da Cristofolini (1970) per specie erbacee del sottobosco e da Gratani *et al.* (1983) per le specie psammofile.

Il campionamento per la stima della biomassa va effettuato nel periodo presunto di massima biomassa. Sebbene tutte le specie di una comunità non raggiungano contemporaneamente il picco massimo di biomassa, tuttavia Lauenroth (1979) ha constatato che la somma dei picchi di biomassa per le diverse specie di una prateria fornisce una stima della biomassa che differisce solo del 7% dalla stima ottenuta utilizzando il valore di biomassa di ciascuna specie.

La produttività primaria è la biomassa o il peso della sostanza organica assimilata da una comunità o da un organismo per unità di area e per unità di tempo.

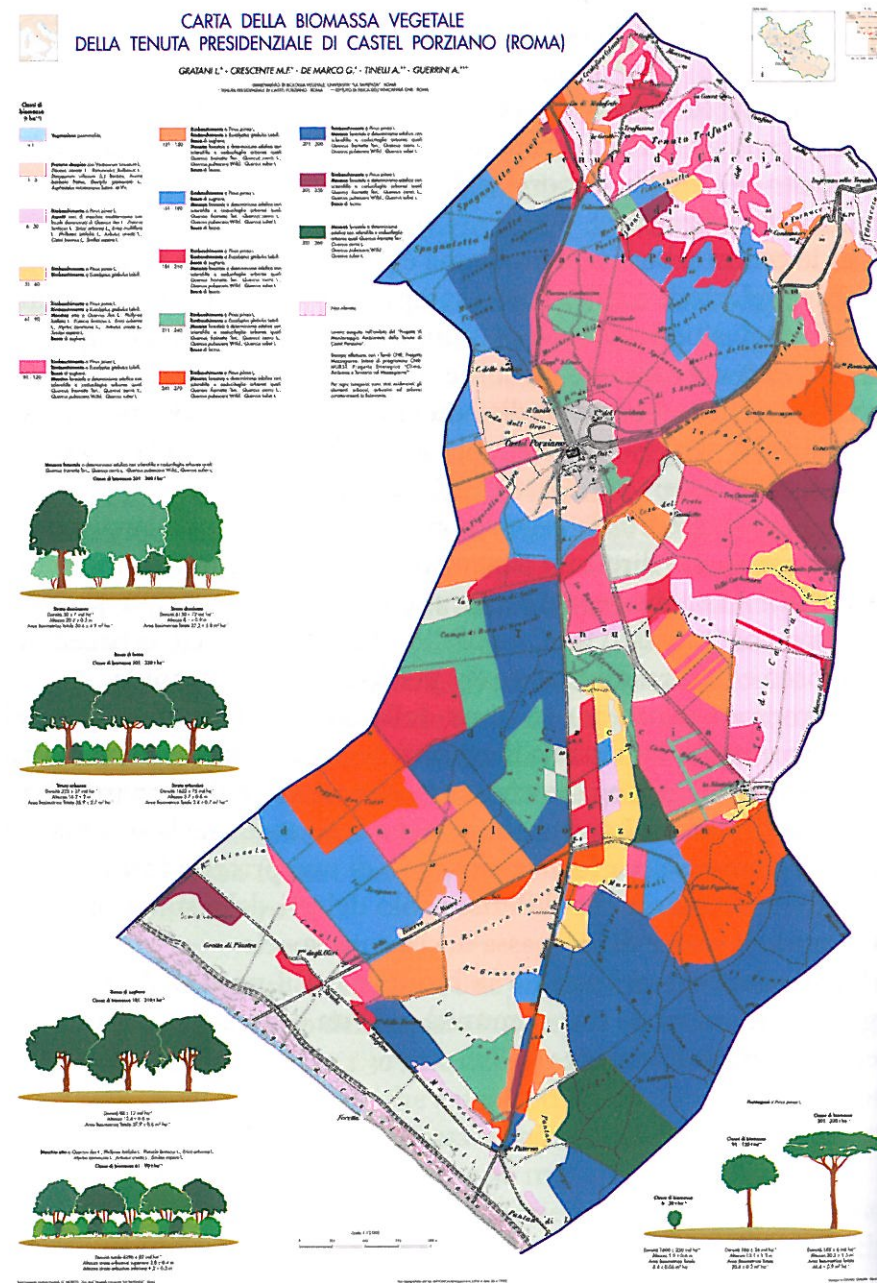



Figura 4.7. Carta della biomassa vegetale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma) (Gratani *et al.*, 1999b).

4.2. L'indice di area fogliare

L'indice di area fogliare (LAI, Leaf Area Index), dato dal rapporto fra la superficie fogliare totale e la sua proiezione al suolo (Watson, 1947; Beadle, 1993), è uno dei parametri più strettamente legato alla biomassa fogliare (Waring, 1983), poiché fornisce una stima della superficie fogliare fotosinteticamente attiva (Botkin, 1986). L'indice di area fogliare varia nelle diverse cenosi e può assumere valori diversi anche all'interno di una stessa cenosi, in funzione della disponibilità delle risorse (Odum, 1971; Gratani *et al.*, 1997; Gratani e Crescente, 2000a; 2000b; Gratani e Bonito 2011). Fra i fattori che incidono maggiormente sul LAI un ruolo preponderante è svolto dalla luce, essendo la produttività funzione della superficie fogliare totale illuminata (Larcher, 2003).

Nel corso dello sviluppo di una cenosi forestale il LAI aumenta fino a raggiungere un valore massimo, per poi gradualmente diminuire (Ovington, 1957; Kira e Shidei, 1967; Gratani e Crescente, 2000a; Gratani *et al.*, 2003). In tal senso l'indice di area fogliare è uno dei parametri più importanti per valutare la capacità produttiva di un sistema. Il LAI delle foreste temperate è compreso fra 1 e 21. Waring *et al.* (1978) e Schirone *et al.* (1985), in uno studio effettuato sui boschi cedui di cerro di età media di 24 e 30 anni, hanno riscontrato valori rispettivamente di 2.2 e 3.3; Kramer e Kozlowski (1960; 1979) e per i boschi di latifoglie

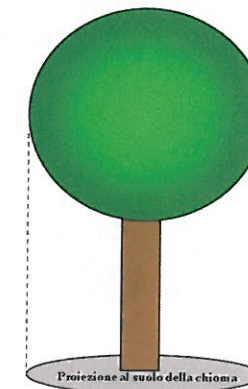



Figura 4.8. L'indice di area fogliare (LAI, Leaf Area Index) è dato dal rapporto fra la superficie fogliare totale e la sua proiezione al suolo.

riportano un valore variabile fra 3 e 6. Piccoli e Borelli (1988) hanno osservato variazioni di LAI da 2.3 a 5.3 in popolazioni di cerro di età diversa. Il LAI della vegetazione mediterranea è compreso fra 1 e 2 e raggiunge valori compresi fra 3 e 5 con l'aumento delle precipitazioni e quando il bilancio idrico diventa più favorevole (Loissant, 1973; Cody e Mooney, 1978; Gratani, 1996).

Inoltre il LAI permette di valutare precocemente i sintomi di stress in ecosistemi forestali, poiché le sue variazioni sono correlate con la diminuzione della densità fogliare (Waring, 1985; Gratani e Frattaroli, 1995) e quindi con una riduzione della capacità fotosintetica totale della chioma che, a sua volta, incide sulla capacità produttiva. Di conseguenza l'analisi strutturale della copertura vegetale fornisce informazioni utili per la comprensione dei fenomeni dinamici connessi con la capacità di funzionamento. Il LAI e la biomassa sono anche funzione delle caratteristiche morfologiche fogliari, evidenziate dalla superficie fogliare specifica (SLA) e dal peso fogliare specifico (LMA) (Beadle, 1993; Cutini, 1994; Gratani e Crescente, 1995; Gratani, 1996).

Un altro parametro importante nel caratterizzare la struttura è l'indice della densità fogliare della chioma (LAD, Leaf Area Density), calcolato dal rapporto fra il LAI e l'altezza della chioma (Küppers, 2003), che si riduce in risposta a fattori di stress quali ad esempio l'aridità e l'inquinamento.

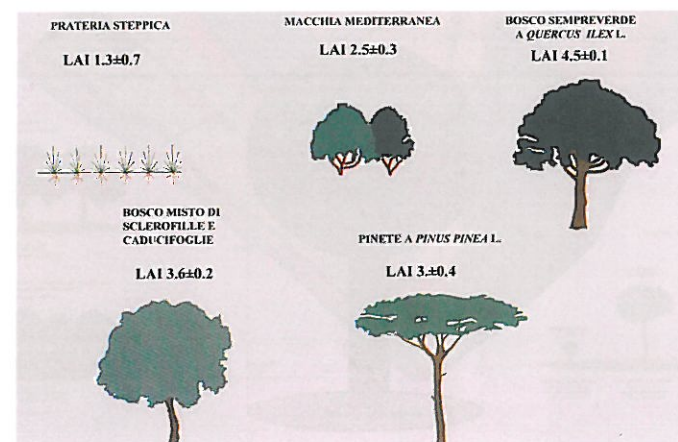



Figura 4.9. Valori di indice di area fogliare (LAI) per alcune di tipologie vegetazionali.

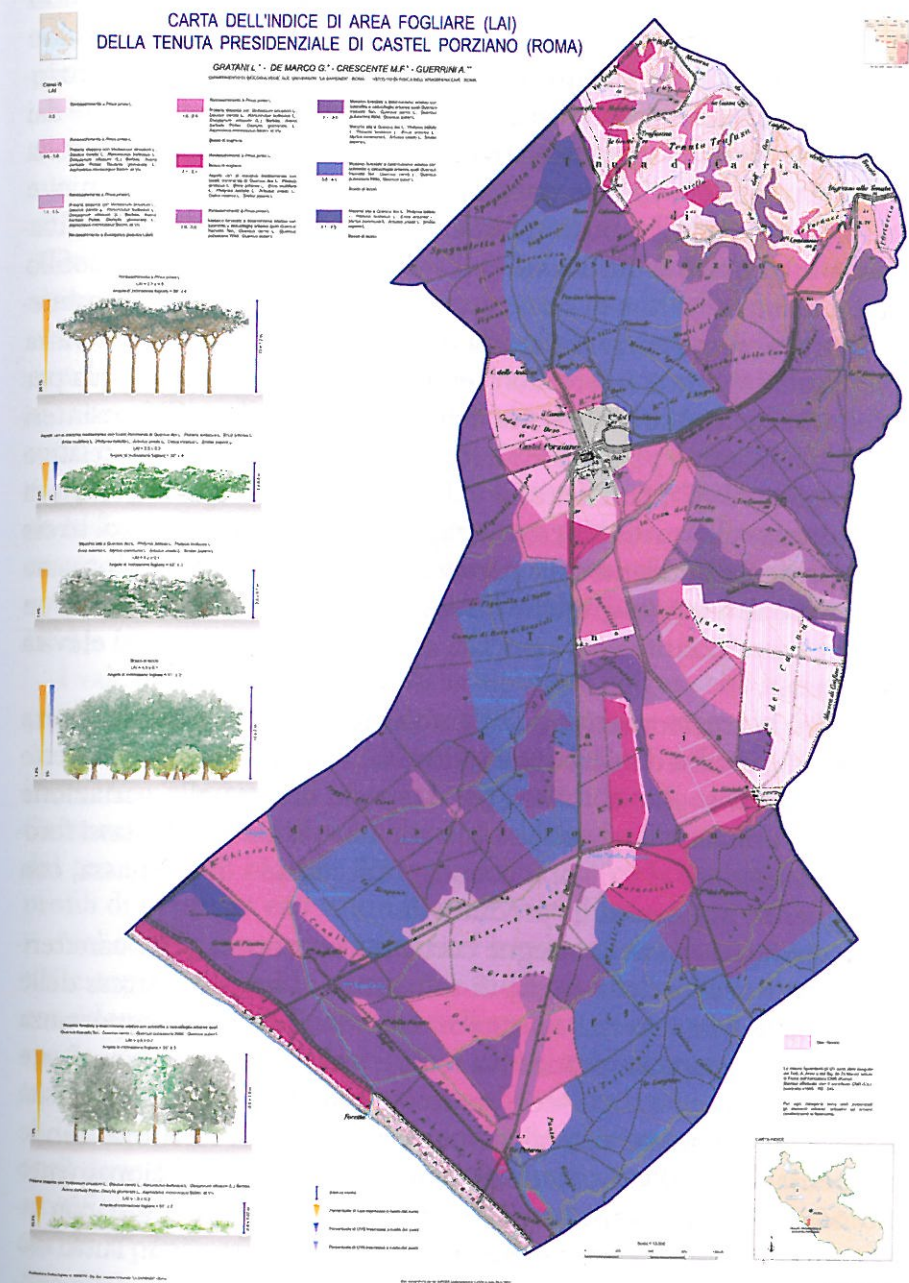



Figura 4.10. Carta dell'indice di area fogliare (LAI) della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma) (Gratani *et al.*, 1997).

Il monitoraggio dello stato funzionale di una specie o di una cenosi viene effettuato attraverso l'analisi delle caratteristiche strutturali e funzionali. Fra i parametri fisiologici utili per valutare lo stato funzionale, l'attività fotosintetica è un indicatore delle limitazioni imposte dai fattori ambientali ed in particolare dalla temperatura, che ne controlla l'ampiezza. Si deve inoltre sottolineare che molti tratti anatomici e morfologici della foglia possono essere spiegati come adattamenti finalizzati a migliorare la diffusione dell'anidride carbonica nel mesofillo per la fotosintesi, al fine di aumentarne l'efficienza. L'attività fotosintetica è strettamente correlata con la conduttanza stomatica, che varia nelle diverse specie e determina il controllo della perdita di acqua per traspirazione. Inoltre l'efficienza dell'uso dell'acqua per la fotosintesi (WUE), associata al potenziale idrico (ψ) e al contenuto idrico relativo della foglia (RWC), consente di valutare la capacità di resistenza di specie diverse allo stress idrico, che rappresenta uno dei fattori di stress maggiormente incidenti sulla capacità di produzione della biomassa soprattutto in aree geografiche dove l'aridità nel periodo estivo è un fattore caratterizzante ed è associata a elevate temperature ed elevata irradianza.

Poiché le trasformazioni dell'ambiente incidono sulla presenza delle specie e sulla densità degli individui, l'analisi funzionale mette in evidenza la soglia di tolleranza di specie diverse alla variazione dei fattori ambientali, considerando che una riduzione dei tassi fotosintetici superiore al 50% non consente l'accumulo di biomassa, con conseguenze negative sulla produttività.

Da quanto detto ne consegue come la conoscenza delle caratteristiche strutturali e della soglia di tolleranza ai fattori di stress delle specie costituenti i diversi ecosistemi sia di fondamentale importanza per valutare la capacità produttiva reale e potenziale e per pianificare strategie di sviluppo socio–economico sostenibili. Inoltre, la necessità di avere informazioni dettagliate per vaste aree del territorio rende indispensabile l'individuazione di indicatori idonei di funzionamento (bioindicatori), che consentono di effettuare il monitoraggio, con interventi mirati soprattutto nelle aree a maggiore fragilità. Tutto ciò sottintende una politica attenta che incorpori gli obiettivi della conservazione nelle direttive governative, attribuendo loro un impegno finanziario comparabile a quello dei programmi di sviluppo economico, e finalizzata all'attuazione di idonee strategie di utilizzo del territorio, soprattutto nelle aree ad elevata valenza, nei parchi e nelle aree protette, contribuendo al mantenimento delle risorse naturali per le generazioni future (Gratani e Bonito 2011).

In tale contesto viene illustrato un esempio di rappresentazione cartografica della biomassa vegetale e vengono messe in evidenza le sue relazioni con l'indice di area fogliare. Lo studio è stato condotto nei pascoli che si sviluppano nel comprensorio di Campo Imperatore (Gran Sasso D'Italia, 42°28'19"N, 13°34'14"E), che dal punto di vista altitudinale è caratterizzato da due diverse fasce bioclimatiche: il piano subalpino, che interessa i settori più elevati posti al di sopra di 1850 m ed il piano montano, che si estende al di sotto di tale limite fino ai 1600 m (Biondi *et al.*, 1992). La stima della biomassa (Gratani *et al.*, 1994) è stata effettuata a fine Giugno (1992), nel periodo in cui la stessa raggiungeva il massimo valore, mediante il metodo diretto proposto da Milner e Hughes (1968). Nello stesso periodo, nell'ambito di ogni associazione presa in considerazione, è stata misurata l'altezza delle specie e il LAI, mediante il LAI–2000 Plant Canopy Analyzer (Licor, USA).

I valori ottenuti dalla stima della biomassa epigea sono stati utilizzati per la realizzazione della "Carta della biomassa vegetale dei pascoli di Campo Imperatore". Allo scopo sono state definite 11 classi di biomassa, ciascuna di 70 unità, rappresentate da colori diversi. La Carta rappresenta la distribuzione di tali classi quantitative nell'ambito del territorio in esame. Sono riportati per ciascuna associazione i profili di struttura ed i valori di biomassa ipogea.

Nel caso in esame si evidenzia l'incidenza dei fattori microclimatici e topografici sulla struttura e sulla biomassa delle associazioni considerate ed il ruolo svolto, nell'ambito di ciascuna di esse, dalle specie costituenti, dalla loro abilità cioè a modificare le caratteristiche strutturali e funzionali in rapporto alle risorse ambientali.

Il LAI è stato utilizzato anche nella descrizione strutturale dei pascoli dove ad una elevata densità orizzontale, corrisponde una scarsa stratificazione verticale. Tale modello strutturale riducendo notevolmente la penetrazione della luce a livello del suolo, condiziona l'attività fotosintetica delle specie di ridotta altezza e, di conseguenza, la loro produttività. All'esame si osserva come cenosi floristicamente distinte appartengano alla stessa classe di biomassa e ciò è imputabile soprattutto alla topografia ed alle differenze edafiche. Infatti le situazioni a

biomassa più elevata sono situate su suolo più profondo ed esposizione favorevole. Nel piano subalpino, il *Seslerietum apenninae* (Migliaccio 1970 em. Bonin 1978), che si sviluppa a quota 2030 m s.l.m., su versante a notevole inclinazione e ad esposizione NNW, che risente notevolmente dell'azione dei forti venti, mostra i più bassi valori di biomassa epigea. Anche nel piano montano il valore più basso di biomassa si riscontra nel *Polygalo majoris–Seslerietum nitidae* Biondi *et al.* 1995, che si sviluppa su un versante a notevole inclinazione, a 1770 m s.l.m. e su un suolo poco profondo. Per quanto riguarda la vegetazione che caratterizza le doline, i valori più bassi si rilevano sulla cresta, dove i processi erosivi e l'azione del vento incidono negativamente sulla densità e sull'altezza degli individui. Si evidenzia un aumento dei valori di biomassa epigea all'aumentare dell'altezza e del LAI.

Tale sintesi cartografica permette di valutare zone a diversa biomassa, risultando quindi un utile strumento per la definizione della capacità produttiva del territorio, permettendo di seguire le variazioni che si determinano in seguito a fattori di disturbo antropici (taglio, incendio, pascolamento, infrastrutture) o naturali (incendi, alluvioni, valanghe) e rappresenta quindi un valido modello di gestione del territorio, soprattutto nel caso di parchi ed aree di notevole interesse naturalistico o soggette a fenomeni erosivi.

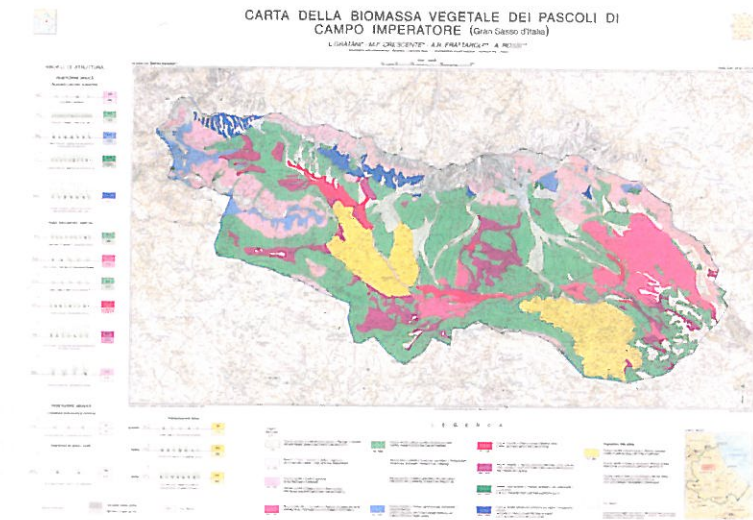



Figura 4.11. Carta della biomassa vegetale dei pascoli di Campo Imperatore (Gran Sasso d'Italia) (Gratani *et al.*, 1994).

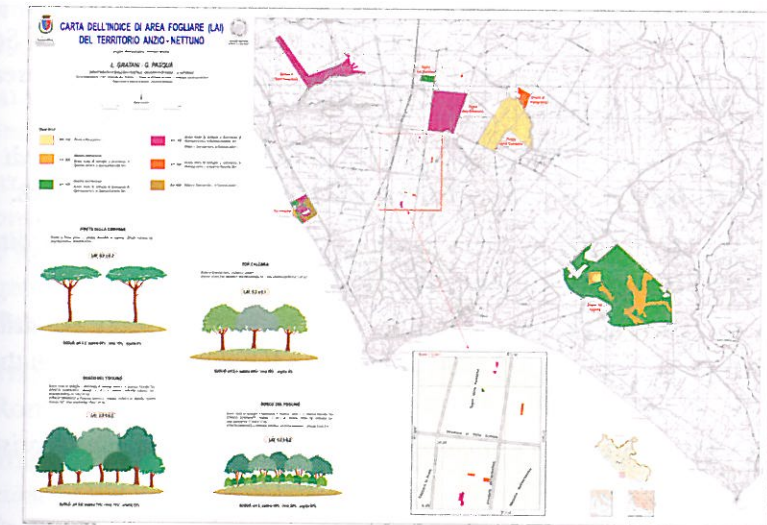



Figura 4.12. Carta dell'indice di area fogliare (LAI) del Territorio Anzio–Nettuno (Lazio) (Gratani e Pasqua, 2004).

Bibliografia

Assman E. *The principles of forest yield study.* Pergamon Press, New York, 1970, pp. 506.

Beadle C.L. *Growth analysis.* In Hall D.O. *et al.* (eds.), Photosynthesis and Production in a Changing Environment: a Field and Laboratory Manual. Chapman and Hall, London, 1993, pp. 36–46.

Beadle C.L., R.E. Neilson, H. Talbot, Jarvis P.G. *Stomatal conductance and photosynthesis in a mature Scats pine forest I. Diurnal, seasonal and spatial variation in shoots.* J. Appl. Ecol. 1985, 22: 557–571.

Biondi E., Allegrezza M., Ballelli S., Calandra R., Crescente M.F., Frattaroli A.R., Gratani L., Rossi A., Taffetani F. *Indagini per una cartografia fitoecologica dell'altipiano di Campo Imperatore (Gran Sasso d'Italia).* Bollettino dell'A.I.C. 1992, 86: 85–98.

Blackman, G.E., Wilson G. L. *Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. IX. Adaptive changes in the vegetative growth and development of Helianthus annuus induced by an alteration in light level.* Ann. Bot. N.S. 1954, 18: 71–94.

Bliss L.C.A. *Comparison of plant development in microenvironments of arctic and alpine tundras.* Ecol. Monogr. 1956, 26: 303–337.

Botkin D.B. *Remote sensing of the biosphere.* National Academy of Sciences, Report of the Committee on Planetary Biology, National Research Council, Washington D.C., USA, 1986.

Cantiani M., Piussi P. *Operazioni di misura della biomassa arborea di una fustaia di abete bianco a Camaldoli Arezzo.* Firenze, 1978, pp. 145–158.

Cody M.L., Mooney H.A. *Convergence versus nonconvergence in mediterranean–climate ecosystems.* Annu. Rev. Ecol. Syst.1978, 9: 265–321.

Corona P., la Marca O., Schirone B. *Ricerche sull'ottimizzazione della intensità di matricinatura nei cedui di cerro: I – Il ceduo composto a maturità.* Acc. It. Scienze Forestali 1986, 35: 123–158.

Cristofolini, G. *Biomassa e producttivita dello strato erbaceo di un ecosistema forestale.* 1970. Giorn. Bot. Ital. 104:1–34.

Curtis, R. O., Reukema, D.L. *Crown development and site estimates in a Douglas–fir plantation spacing test.* Forest Sci. 1970, 16: 287–301.

Cutini A. *Indice di area fogliare, produzione di lettiera ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione.* Ann. Ist. Sper. Selv., Arezzo, 1994, XXIII: 147–166.

De Wit C.T. *Photosynthesis of leaf canopies Agricult.* Res. Rep. No 663. Center for Agricult. Publ. Doc. Wageningen, 1965.

Floret C., Le Floc'h E., Pontanier R. *Phytomasse et production en Tunisie présaharienne.* Acta Oecol. 1983, 4: 133–152.

Forman R.T.T., Godron M. *Landscape Ecology.* John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 1986.

Fuls E.R. *The effect of nutrient enriched sediment deposits on the vegetational traits of a patch–grazed semi–arid grassland.* Vegetatio 1991, 96: 177–183.

Grace J. *Plant responses to wind.* London: Academic Press, 1977.

Grace, J. *Some effects of wind on plants.* In: Grace J., Ford E.D., Jarvis P.G. (eds.), Plants and their Atmospheric Environment, 21st Symposium of the British Ecological Society, Blackwell Scientific, Oxford, UK, 1981, pp. 31–56.

Gratani L. *Leaf and shoot growth dynamics of Quercus ilex L.* Acta Oecol. 1996, 17 (1): 17–27.

Gratani L., Crescente M.F. *Fenologia e stagionalità delle specie psammofile.* Colloq. Phytosoc., 1995, 24: 27–32.

Gratani L., Frattaroli A.R. *Analisi strutturale e morfologica fogliare di alcune aree rimboschite a Pinus nigra Arn. nell'Appennino Abruzzese.* Arch. Geobot. 1995, 1 (2): 143–152.

Gratani L., Crescente M.F. *Map–makings of plant biomass and leaf area index for management of protected areas.* Aliso, 2000a, 19 (1): 1–12.

Gratani L., Crescente M.F. *Carta dell'Indice di Area Fogliare (LAI) del Comprensorio Tolfetano.* 2000b. In: Modello di Piano per la Tutela Ambientale e lo Sviluppo Socio–Economico di Aree di Interesse Naturalistico. Progetto per il Territorio di Allumiere e Tolfa. A cura di G. Lombardi e A. Recrosio, pp. 155–164.

Gratani L., Bonito A. *Paesaggi dei Castelli Romani.* Fratelli Palombi Editori, Roma, 2011.

Gratani L., Pasqua G., *Analisi dello stato strutturale e funzionale della vegetazione e Carta dell'Indice di Area Fogliare del Territorio Anzio–Nettuno.* CRS, Roma, 2004.

Gratani L., Amadori M., Veri L., Bruno F., Porri M. *Determinazione di un metodo di stima della biomassa nella macchia di Castelporziano (Lazio).* Ann. Bot., Roma, 1980, 41 (1): 131–151.

GRATANI L., AMADORI M., MARINUCCI C., BRUNO F. *Metodologie indirette per la stima della biomassa. Relazioni fra valori di copertura fitosociologica e valori ponderali: la vegetazione della duna di Castelporziano (Roma).* Giorn. Bot. Ital. 1981, 115 (6): 401.

GRATANI L., AMADORI M., VERI L. A preliminary study of the maquis at Castelporziano (Lazio) structure and biomass with the use of the phytosociological table. Ann. Bot., Roma, 1982, 40: 163–170.

GRATANI L., MARINUCCI C., AMADORI M., BRUNO F. *Relationship between phytosociological table and biomass estimation of psammophilous vegetation at Castelporziano (Rome, Italy).* Acta Oecol. / Oecol. Gener. 1983, 4 (4): 307–314.

GRATANI L., CRESCENTE M.F., FRATTAROLI A.R., ROSSI A. *La Carta della Biomassa Vegetale dei Pascoli di Campo Imperatore (Gran Sasso d'Italia).* Stampa Borgia, Roma, 1994.

GRATANI L., DE MARCO G., CRESCENTE M.F., GUERRINI A. *Carta dell'indice di area fogliare (LAI) della Tenuta Presidenziale di Castel Porziano.* Il Centro stampa, Roma, 1997.

GRATANI L., ROSSI A., CRESCENTE M.F., FRATTAROLI A.R. *Ecologia dei pascoli di Campo Imperatore (Gran Sasso d'Italia) e Carta della Biomassa Vegetale.* In: Biondi E. (a cura di), Ricerche di Geobotanica ed Ecologia Vegetale sull'Altipiano di Campo Imperatore (Gran Sasso d'Italia). Braun–Blanquetia 1999a, 16: 227–247.

GRATANI L., CRESCENTE M.F., DE MARCO G., TINELLI A., GUERRINI A. *Carta della biomassa vegetale della Tenuta Presidenziale di Castel Porziano.* Il Centro stampa, Roma, 1999b.

GRATANI L., ROSSI A., CRESCENTE M.F., FRATTAROLI A.R. *Ecology of grassland at Campo Imperatore.* In: Biondi E., Allegrezza M., Taffetani F., Ballelli S., Zuccarello V. "Excursion to the National Park of Gran Sasso and Monti della Laga". Fitosociologia, 2002, 39: 43–90.

GRATANI L., BOMBELLI A., CRESCENTE M.F. *Leaf area index (LAI) map of a protected area within the caldera of Vico Lake (Italy).* Plant Biosyst., 2003, 137: 141–148.

HAMILTON, G.J. *The depencence of volume increment of individual trees on dominance, crown dimensions, and competition.* Forestry, 1969, 42: 133–144.

HELLER H. *Estimation of photosynthetically active leaf area in forests.* In: Ellenberg H. (ed.) Ecological studies 2: integrated experimental ecology—methods and results of ecosystem research in the German solling project. Springer, Berlin, 1971, pp. 29–31.

JACK S.B., LONG J.N. *Analysis of stand density effects on canopy structure: a conceptual approach.* Trees 5, 1991, 44–49.

JOHNSON N.C. *Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae?* Ecol. Appl. 1993, 3:749–757.

KATSUNO M., HOZUMI K. *Estimation of leaf area at the level of branch, tree and stand in Cryptomeria japonica.* Ecol. Res. 1990, 5, 93–109.

KIRA T., SHIDEI T. *Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific.* Jap. J. Ecol. 1967, 17, 70–87.

KITTREDGE J. *Estimation of the amount of foliage of trees and shrubs.* J. For. 1944, 42: 905–912.

KRAMER P. J., KOZLOWSKI T.T. *Physiology of Woody Plants.* Academic Press, New York, 1979.

KRAMER P. J., KOZLOWSKI T.T. *Physiology of Trees.* McGraw–Hill, New York, 1960.

KÜPPERS M. *Space filling by foliage: The effect of growth form and architecture on the light environment.* In: Larcher W. (ed.), Physiological plant ecology, 4th edn. Springer–Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2003, pp. 40–41.

LARCHER W. *Physiological plant ecology.* Springer, Berlin, 2003.

LAUENROTH W.K. *Grassland primary production: North American grasslands in perspective.* In: French N.R. (ed.), Perspectives in grassland ecology. Springer–Verlag, New York, 1979, pp. 3–24.

LOISSANT P. *Soil–vegetation relationships in mediterranean ecosystems of southern France.* In Di Castri F., Mooney H. A., (eds.) Mediterranean type ecosystems. Origin and structure. Springer–Verlag, New York, 1973, pp. 199–210.

MILNER C., HUGHES R.E. *Methods for the measure of the primary production of grassland.* Blackwell, Oxford, 1968.

MONSI M., SAEKI T. *Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion.* Jpn. J. Bot. 1953, 14: 22–52.

NAVEH Z. LIEBERMAN A.S. *Landscape Ecology – Theory and Application.* Springer–Verlag, New York, NY, USA, 1984.

NEWBOULD P. J. *Methods for estimating the primary production of forests.* IBP Handbook No. 2. Blackwell Scientific Publ. 1967.

NORMAN J. CAMPBELL G. *Application of a plant environment model to problems in the environment.* Advances in Irrigation 1983, 2: 155–188

NORMAN J.M. CAMPBELL G.S. *Canopy structure.* In: Pearcy R.W. *et al.* (eds.), Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation. Chapman and Hall, New York 1989, pp. 301-326.

ODUM E.P. *Fundamentals of ecology.* (3th ed.) Saunders, London, UK, 1971.

OVINGTON J.D. *Dry matter production by Pinus sylvestris.* Ann. Bot. 1957, 21: 287–314.

PICCOLI D., BORELLI S. *Introduzione agli studi fitometrici sulla cerreta di Roccarespampani (VT).* Inf. Bot. It. 1988, 20: 810–815.

POTTER J.R., JONES J.W. *Leaf area partitioning as an important factor in growth.* Plant Physiol. 1977, 59, 10–14.

ROBERTS S.D., LONG J.N., SMITH F.W. *Canopy stratification and leaf area efficiency: a conceptualisation.* Forest Ecol. Manag. 1993, 60: 143–156.

SCHIRONE B., SCARASCIA MUGNOZZA G., VALENTINIR. *Osservazioni preliminari sull'indice di area fogliare di Quercus cerris L.*. Monti e Boschi, 1985, 36(5): 47–51.

SINGH J.S., LAUENROTH W.K., STEINHORST R.K. *Review and assessment of various techniques for estimating net aerial primary production in grasslands from harvest data.* Bot. Rev. 1975, 41: 181–232.

SMITH F.W., LONG J.N. *Determinants of stemwood production in coniferous forests: a comparison of Pinus contorta var. latifolia and Abies lasiocarpa.* 1991. In Proc. Symp. on Ecology of mixed species stands of trees. IUFRO and British Ecological Society, Edinburgh, Scotland. Sept. 1990.

SMITH C. J., DELAUNE R. D., PATRICK W. H. *Carbon dioxide emission and carbon accumulation in coastal wetlands.* Jr. Estuar. coast. Shelf Sci. 1983, 17: 21–29.

SMITH F.W., SAMPSON D.A., LONG J.N. *Comparison of leaf area index estimates from tree allometrics and measured light interception.* For. Sci. 1991, 37: 1682–1688.

SNELL J.A.K., BROWN J.K. *Comparison of tree biomass estimators—DBH and sapwood area.* For. Sci. 1978, 24: 455–457.

WARING R.H. *Estimates of forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area.* Adv. Ecol. Res. 1983, 13: 327–354.

WARING R.H. *Imbalanced forest ecosystems: assessments and consequences.* For. Ecol. Manage. 1985, 12: 93–112.

WARING R.H., GHOLZ H.L., GRIER C.C., PLUMMER M.L. *Evaluating stem conducting tissue as an estimator of leaf area in four woody angiosperms.* Can. J. Bot. 1977, 55: 1474–1477.

WARING R.H., EMMINGHAM W.H., GHOLZ H.L., GRIER C.C. *Variation in maximum leaf area of coniferous forests in Oregon and its ecological significance.* For. Sci. 1978, 24: 131–140.

WARING R.H., THIES W.G. MUSCATO D. *Stem growth per unit of leaf area: a measure of tree vigor.* For. Sci. 1980, 26(1): 112–117.

WARING R.H., SCHROEDER P.E., OREN R. *Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area.* Can. J. For. Res. 1982, 12:556–560.

WARREN–WILSON J. *Arctic plant growth.* Advance. Sci., 1957, 53: 383–388.

WATSON D. J. *Comparative physiological studies in the growth of field crops. I: Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years.* Ann. Bot. 1947, 11: 41–76.

WOODWARD F. I. *Climate and plant distribution* (Cambridge: Cambridge Univ. Press),1987.

Capitolo V

La fenologia

La vita di ogni organismo è caratterizzato dalla ritmicità dei fenomeni e la scienza che si propone di rilevare nel tempo e nello spazio il succedersi di tali fenomeni biologici nei vegetali è detta fenologia. Lo studio degli eventi fenologici descrive la risposta degli organismi vegetali alla variazione dei fattori climatici, la loro efficienza nell'uso delle risorse ed il ritmo funzionale. La fenologia studia la periodicità e la lunghezza delle fasi del ciclo stagionale o vitale degli organismi e le fenofasi rappresentano l'indice macroscopico dei processi endogeni che si manifestano sotto l'influenza dei fattori esterni.

L'analisi del ritmo fenologico fornisce un contributo importante alla conoscenza dell'ecologia della specie, alla capacità di adattamento alle perturbazioni ed al funzionamento delle comunità vegetali. In particolare:

- *fenofase*: ciascuna fase distinguibile all'interno del ciclo vitale di una specie. Generalmente viene indicato l'inizio e la fine di ciascuna fase;
- *fenodinamica*: l'intera sequenza di fenofasi che si verifica nell'anno;
- *fenogramma*: la percentuale o il numero assoluto di individui di una specie (o il numero di specie di una comunità) che entrano in una data fase;
- *spettro fenologico*: elaborazione della fenodinamica per ciascuna specie in una comunità e la loro presentazione in una tavola comparativa;
- *carta fenologica*: rappresentazione cartografica con linee attraverso porzioni geografiche differenti, mostranti le stesse fenofasi nello stesso tempo (linee=isofene).

Le registrazioni fenologiche forniscono una indicazione integrata della sensibilità delle specie alla variazione dei fattori ambientali ed in particolare a quelli climatici. I cambiamenti nella lunghezza e nella periodicità delle fenofasi (attività vegetativa, fioritura, fruttificazione, senescenza) ed in particolare le variazioni inter–annuali dell'attività vegetativa primaverile, che controlla la fissazione annuale della CO_2 sono in relazione con la produttività.

A livello europeo, il monitoraggio fenologico ha una lunga tradizione ed ha portato alla raccolta di serie di dati, utilizzabili anche per valutare l'impatto del cambiamento climatico sui sistemi naturali. La Rete europea dei Giardini Fenologici Internazionali (International Phenological Gardens, IPG), fondata nel 1957, copre una vasta area dell'Europa nella fascia latitudinale 42° N – 69° N (dalla Scandinavia alla Macedonia) e longitudinale 10° W – 27° E (dall'Irlanda alla Finlandia a Nord a dal Portogallo alla Macedonia a Sud) ed interessa 55 Giardini Fenologici (Chmielewski, 1996; Rötzer e Chmielewski, 2000). La rete utilizza cloni geneticamente selezionati di specie arboree ed arbustive (*Betula pubescens*, *Fagus sylvatica*, *Larix decidua*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Populus canescens*, *Populus tremula*, *Prunus avium*, *Quercus petraea*, *Quercus robur*, *Ribes alpinum*, *Robinia pseudoacacia*, *Salix aurita*, *Salix acutifolia*, *Salix glauca*, *Salix smithiana*, *Salix viminalis*, *Sambucus nigra*, *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata*), al fine di ottenere dati comparabili su piante non influenzate da differenze genetiche. Uno degli obiettivi dell'IPG è anche quello di realizzare una rete fenologica globale, che possa raccogliere dati a livello mondiale utili per il monitoraggio a lungo termine.

Figura 5.1. Relazione fra la durata del periodo di attività vegetativa in risposta alla variazione della temperatura media (T_{media}) e equazione che esprime tale relazione.

Anche l'Italia vanta una lunga tradizione fenologica, soprattutto grazie all'opera di Minio e Marcello, che hanno coordinato la Rete Fenologica Italiana rispettivamente dal 1922 al 1936 e dal 1953 al 1965, di Dalla Fior che ha coordinato la rete fenologica regionale del Trentino dagli anni '20 agli anni '60 e di Montelucci che ha collezionato dati relativi al periodo 1960–1982. Il primo Giardino fenologico è stato costituito nel 1982 a San Pietro Capofiume (BO). Attualmente è attiva una rete di nove Giardini distribuiti nel territorio nazionale, le cui attività sono coordinate dal Gruppo di Lavoro Nazionale per i Giardini Fenologici, costituitosi nel 1993, in collaborazione con la Società Botanica Italiana, Enti regionali, l'associazione di Aerobiologia ed Istituti Universitari (Mandrioli, 1998). Il Gruppo ha predisposto un elenco di specie indicatrici comuni a tutti i Giardini, ottenute per propagazione vegetativa da piante madri presenti nel Giardino di San Pietro Capofiume, più esattamente *Crataegus monogyna*, *Corylus avellana*, *Ligustrum vulgare*, *Robinia pseudoacacia*, *Sambucus nigra*. Sono state incluse in questo elenco tre diverse specie di *Salix* (*S. acutifolia*, *S. viminalis* e *S. smithiana*) provenienti dall'IPG (Botarelli e Sacchetti, 1998).

Il monitoraggio fenologico effettuato dall'IPG ha evidenziato l'aumento della temperatura attraverso la registrazione dell'anticipo degli eventi primaverili. Nelle zone temperate, infatti, l'apertura delle gemme, la fogliazione e la fioritura (fenofasi) rispondono all'accumulo della temperatura al di sopra di un valore soglia, che è specie–specifico ed un aumento delle temperature medie invernali e primaverili si riflette in un anticipo delle fasi (Rathcke e Lacey, 1985). In particolare, Chmielewski e Rötzer (2000) hanno evidenziato come nel periodo 1969–1998, in Europa, l'inizio dell'attività vegetativa sia stato mediamente anticipato di 2.7 giorni per decade, per complessivi 8 giorni. Risultati simili sono stati ottenuti da Koch (2000) per *Fagus sylvatica*, *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Aesculus hippocastanum*, *Larix decidua*,

Malus domestica, *Prunus avium*, *Syringa vulgaris* e specie del genere *Quercus*, analizzando registrazioni effettuate in Svizzera, Austria e Slovenia, nel periodo 1960–1999. Menzel (2000), utilizzando dati fenologici relativi a cloni di specie arboree e arbustive, ha messo in evidenza, per il periodo 1959–1996, un anticipo di circa 6 giorni (–0.21 giorni/anno) per il processo di fogliazione ed un ritardo di 4.5 giorni (+0.15 giorni/anno) per il processo di senescenza fogliare, con un conseguente allungamento medio della stagione di crescita di 10.8 giorni dal 1960. Rötzer e Chmielewski (2000) hanno messo in evidenza, attraverso modelli di regressione multipla, le relazioni fra la data d'inizio delle fenofasi e fattori quali l'altitudine, la latitudine e la longitudine. Mentre il fattore altitudine varia da 2.0 giorni/100 m per l'inizio della fogliazione in *Fagus sylvatica* a 4.6 giorni/100 m per l'inizio della fioritura in *Robinia pseudoacacia*, il fattore latitudine da 1.8 giorni/° per l'inizio della fogliazione in *Fagus sylvatica* a 4.5 giorni/° per l'inizio della fogliazione in *Prunus avium*, il fattore longitudine da 0.23 giorni/° per l'inizio della fogliazione in *Fagus sylvatica* a 0.83 giorni/° per l'inizio della fogliazione in *Prunus avium*. Gratani *et al.* (2000) hanno evidenziato una differenza di circa 15 giorni nella data di apertura delle gemme in *Quercus ilex* L. fra il centro (Castelporziano, Roma, 41°45'N 12°26'E, livello del mare) ed il nord Italia (Nago, Trento, 45°55'N 10°53'E, 260 s.l.m.) e di tre settimane nella durata del processo di allungamento dei germogli.

La topografia gioca un ruolo notevole nel determinare la variabilità spaziale delle fenofasi, poiché incide sulla variazione locale della temperatura. Gratani *et al.* (1999) in uno studio condotto a Campo Imperatore (Gran Sasso d'Italia) hanno evidenziato differenze fenologiche significative per le specie delle associazioni presenti nel piano subalpino (1800–2000 m s.l.m.) e nel piano montano (1440–1800 m s.l.m) e, a livello dello stesso piano, variazioni in aree topograficamente diverse. Nel piano montano, ad esempio, l'inizio della fioritura mostra un anticipo di 10–15 giorni, rispetto al piano subalpino, e raggiunge il picco massimo dopo circa 20–25 giorni dall'inizio del fenomeno; l'attività fenologica è più breve dove le condizioni microclimatiche sono più limitanti e, nei siti più esposti all'azione del vento, anche il periodo di maturazione dei frutti è più ristretto.

Osborne *et al.* (2000) hanno mostrato come la fase di fioritura di *Olea europaea* sia fortemente influenzata dalle temperature medie

primaverili, ipotizzando un anticipo di 3–23 giorni fra il 1990 e il 2030; gli autori suggeriscono di utilizzare questa specie come indicatore del cambiamento climatico nel Bacino del Mediterraneo.

Poiché il riscaldamento del clima provoca un cambiamento nel regime termico, a cui non corrisponde, tuttavia, un cambiamento nel fotoperiodo, specie localmente adattate ad una certa combinazione di luce e temperatura possono risultare danneggiate. In generale, si possono ipotizzare (Lechowicz, 2001) tre tipi di risposta delle specie al cambiamento climatico:

1) le specie possono migrare per rimanere nello stesso regime climatico a cui sono adattate fenologicamente;
2) le specie possono adattarsi alle nuove condizioni climatiche. Le differenze fra gli individui di una popolazione possono favorire lo spostamento di fase in risposta al cambiamento climatico e, in un tempo sufficientemente lungo, possono determinare una risposta adattativa;
3) le specie possono rispondere negativamente al cambiamento climatico perdendo la dominanza all'interno del sistema oppure estinguendosi. Per quanto riguarda il primo punto, la frammentazione degli habitat pone delle barriere alla migrazione, riducendo la possibilità di spostamento delle specie ed abbassando la variabilità genetica all'interno delle popolazioni che restano isolate, rendendole quindi più vulnerabili.

Da quanto detto emerge che il monitoraggio fenologico è uno strumento utile per trarre informazioni relative al cambiamento climatico. L'Europa è particolarmente attiva nello sviluppo di modelli fenologici in relazione alla lunga serie di dati fenologici raccolti. La realizzazione di una Rete Fenologica a livello globale potrebbe contribuire a estrapolare i risultati delle singole ricerche, consentendo di migliorare le valutazioni dell'impatto del cambiamento climatico anche sulla produttività agricola, sul funzionamento delle foreste, sulla biodiversità, sulle specie coltivate e su tutte le problematiche legate alla salute umana.

Nell'ambito del ciclo fenologico la temperatura gioca un ruolo importante nelle diverse fasi e nei diversi climi. Anche l'inizio e la lunghezza del periodo di attività vegetativa varia nelle diverse specie

e nei diversi climi. Un altro tratto fenologico di rilievo è la longevità fogliare, riferita al periodo di tempo che va dall'emergenza alla caduta delle foglie. Una specie è considerata sempreverde se mantiene le sue foglie per più di un anno, al contrario di una caducifoglia che le perde dopo pochi mesi. Tuttavia alcune sempreverdi possono sostituire le loro foglie più volte nel corso dell'anno, come ad esempio le semidecidue all'aridità, che crescono nel clima mediterraneo. Il significato ecologico delle foglie sempreverdi è stato messo in relazione con la loro efficienza nell'uso delle risorse in ambienti caratterizzati da suoli poveri e con scarsa disponibilità idrica, osservando come la traslocazione dei nutrienti dalle foglie vecchie alle nuove, riduca la dipendenza delle piante dalla disponibilità in nutrienti del suolo. Nelle semidecidue all'aridità il carattere sempreverde è mantenuto dalle emissioni successive di foglie piuttosto che da una estesa longevità delle stesse. Se una specie sempreverde produce le foglie in più occasioni nel corso dell'anno la traslocazione dei nutrienti avviene in più occasioni.

Alcune specie sempreverdi mediterranee mostrano una vita media di 2–4 anni, mentre altre (semidecidue all'aridità) di 4–8 mesi. L'attività vegetativa e la produzione di nuove foglie è legata allo stabilizzarsi della temperatura ottimale per la specie e alla disponibilità idrica. La fogliazione inizia prima della caduta delle foglie nelle sempreverdi sclerofille, mentre la segue nelle semidecidue. Anche nello stesso ambiente di sviluppo specie diverse possono mostrare una diversa longevità fogliare, associata a tratti morfologici e fisiologici specifici, risultato di strategie adattative diverse.

5.1. Tasso relativo di sviluppo

Nell'ambito della fenologia lo studio dell'attività vegetativa include l'analisi della crescita e il tasso relativo di sviluppo (RGR) è uno dei parametri utilizzati. RGR è un tratto specie–specifico ed è definito come l'aumento del materiale presente ad ogni istante di tempo ed è espresso dalla formula

$$RGR = \frac{\log W_2 - \log W_1}{t_2 - t_1}$$

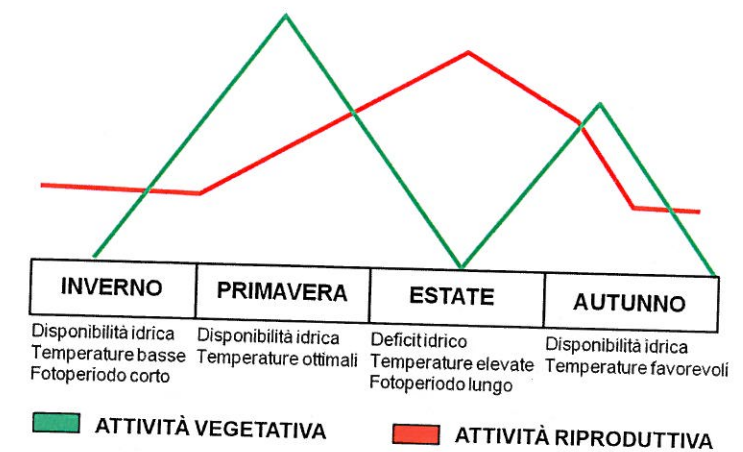



Figura 5.2. Andamento dell'attività vegetativa e dell'attività riproduttiva nelle specie sempreverdi mediterranee della macchia mediterranea.

dove W è il peso e W_1 è il peso al tempo t_1 e W_2 al tempo t_2. Il tasso relativo di sviluppo è una misura della capacità di produzione della biomassa e può essere utilizzato per comparare la performance di una specie o gli effetti di fattori esterni (Coombs *et al.*, 1986).

Figura 5.3. Dall'alto, in senso orario una specie sempreverde (*Quercus ilex*), una specie semidecidua all'aridità (*Cistus monspeliensis*) e una specie caducifoglia (*Parrotia persica*) in fase di senescenza. Si può osservare, in quest'ultima, la presenza di foglie di colore giallo–rosso dovute alla perdita di clorofilla e all'aumento della concentrazione dei carotenoidi.

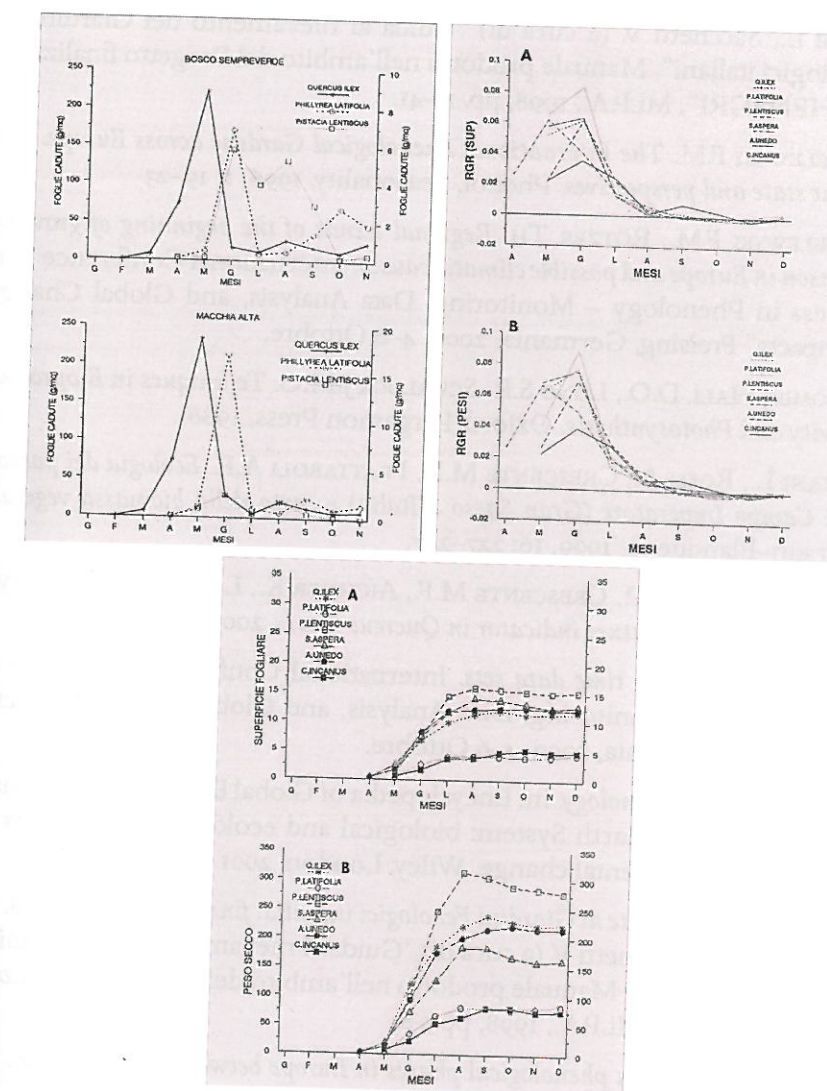



Figura 5.4. Diagrammi che illustrano le variazioni fenologiche in specie sempreverdi costituenti il bosco e la macchia mediterranea.

Bibliografia

BOTARELLI L., SACCHETTI V. *Le specie guida dei Giardini fenologici*. In: Botarelli L., Sacchetti V. (a cura di) "Guida al rilevamento dei Giardini fenologici italiani". Manuale prodotto nell'ambito del Progetto finalizzato "PHENAGRI", Mi.P.A., 1998, pp. 16-41.

CHMIELEWSKI F.M. *The International Phenological Gardens across Europe. Present state and perspectives*. Phenol. Seasonality, 1996, 1: 19–23

CHMIELEWSKI F.M., RÖTZER TH. *Regional trends of the beginning of growing season in Europe and possible climatic causes*. International Conference "Progress in Phenology – Monitoring, Data Analysis, and Global Change Impacts" Freising, Germania, 2000, 4–6 Ottobre.

J. COOMBS, HALL D.O., LONG S.P., SCURLOCK J.M.O. *Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis*. Oxford, Pergamon Press, 1986.

GRATANI L., ROSSI A., CRESCENTE M.F., FRATTAROLI A.R. *Ecologia dei pascoli di Campo Imperatore (Gran Sasso d'Italia) e carta della biomassa vegetale*. Braun–Blanquetia, 1999, 16: 227–247.

GRATANI L., PESOLI P., CRESCENTE M.F., AICHNER K., LARCHER W. *Photosynthesis as a temperature indicator in Quercus ilex L.* 2000, 24: 153–163.

KOCH E. *Alpine long time data sets*. International Conference "Progress in Phenology – Monitoring, Data Analysis, and Global Change Impacts" Freising, Germania, 2000, 4–6 Ottobre.

LECHOWICZ M.J. *Phenology*. In: Encyclopedia of Global Environmental Change. Vol. 2. The Earth System: biological and ecological dimensions of global environmental change. Wiley, London, 2001.

MANDRIOLI P. *Una rete di Giardini Fenologici in Italia: finalità e criteri*. 1998. In: Botarelli L., Sacchetti V. (a cura di) "Guida al rilevamento dei Giardini fenologici italiani". Manuale prodotto nell'ambito del Progetto finalizzato "PHENAGRI", Mi.P.A., 1998, pp.5-8.

MENZEL A. *Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996*. Int. J. Biometeorol. 2000, 44: 76–81.

OSBORNE C.P., CHUINE I., VINER D. E WOODWARD F.I. *Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean*. Plant Cell Environ. 2000. 23: 701–710.

RATHCKE B. E LACEY E.P. *Phenological patterns of terrestrial plants*. Annu. Rev. Ecol. and Syst.,1985, 16: 179–214.

RÖTZER TH., CHMIELEWSKI M. *Phenological maps of Europe*. International Conference "Progress in Phenology – Monitoring, Data Analysis, and Global Change Impacts" Freising, Germania, 2000, 4–6 Ottobre.

Capitolo VI

L'architettura degli alberi

Se si osserva un albero maturo, lasciando scorrere lo sguardo dalla base del fusto verso la chioma, soffermandosi sul punto d'inserzione dei rami fino a focalizzare l'attenzione sulle foglie si evidenzia la il modello, ossia l'organizzazione del fusto, includendo il modello organizzativo dei rami, così come l'angolo d'inclinazione delle foglie, la loro posizione e la taglia (Gratani, 2011).

Una pianta è un organismo dinamico che cresce costantemente divenendo sempre più complesso e il processo costruttivo si realizza per il progressivo accumulo (o perdita) di organi o parte di essi, secondo un modello specie–specifico. Tutti gli alberi di una data specie appaiono simili in quanto sono tutti conformi ad un modello genetico. Il modello descrive la specifica sequenza di ramificazioni cui un albero è soggetto quando aumenta in altezza e procede nella sua maturazione. La simmetria deriva dalla ripetizio-

Figura 6.1. La chioma di un albero secolare di *Quercus pubescens*.

ne di moduli di ramificazioni simili e ogni specie produce una serie di gemme che hanno una collocazione precisa così come le foglie, sviluppando una struttura ramificata con uno schema simmetrico che è specie–specifico.

Nel modello di una architettura, la produzione di una serie di gemme con una precisa collocazione determina una struttura ramificata secondo uno schema definito, che deriva dalla ripetizione di moduli di ramificazione simili. In senso generale si può dire che tanto minore è il grado di ramificazione tanto più è probabile che la pianta appaia

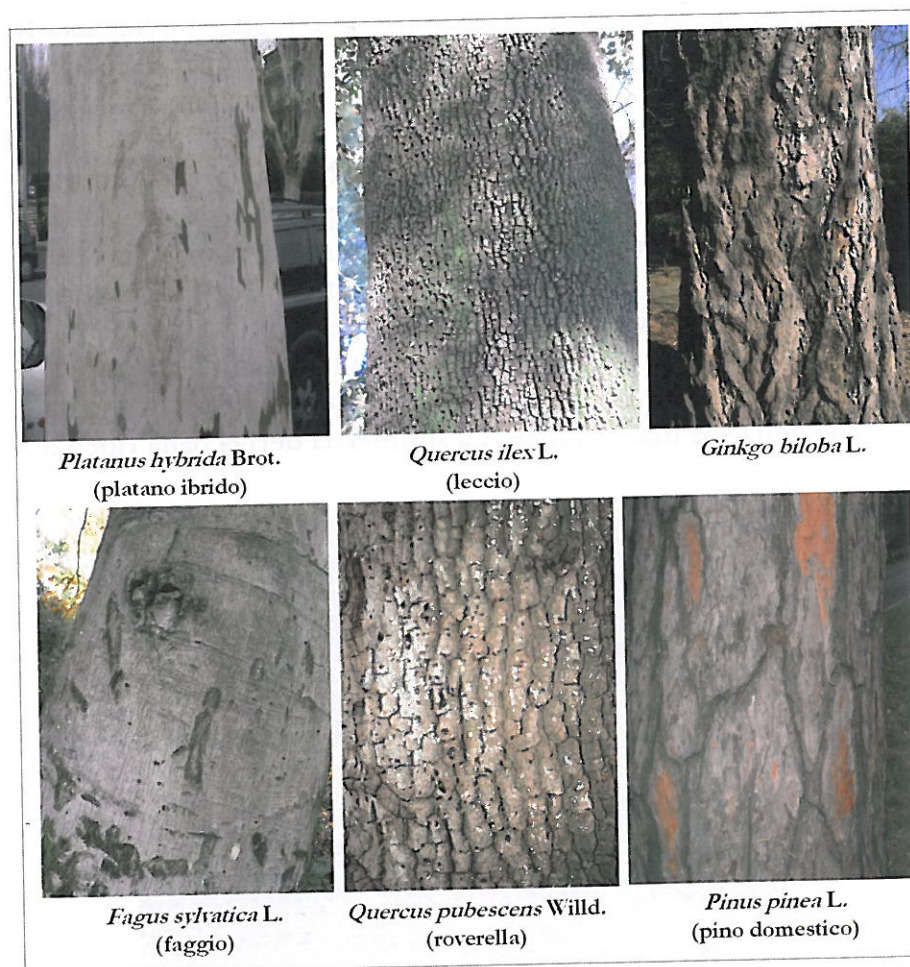



Figura 6.2. La scorza degli alberi è un tratto specie–specifico.

simmetrica (Garland, 1988; Bell, 1998; Leonardi e Stagi, 1998; Klijn e Vos, 2000; Reinhardt e Kuhlemeier, 2002). In particolare, quando l'asse principale continua l'accrescimento emettendo rami laterali subordinati ad esso si ha la ramificazione monopodiale, caratteristica delle Conifere, come ad esempio nell'abete (*Abies alba*), nel cipresso (*Cupressus sempervirens*) e nel larice (*Larix decidua*). Quando cessa l'attività della gemma terminale e si sviluppano le gemme laterali si ha la ramificazione simpodiale, che è caratteristica della maggior parte delle Angiosperme Dicotiledoni, come ad esempio nel castagno (*Castanea sativa*), nel noce (*Juglans regia*) e nel carpino (*Carpinus betulus*).

Durante l'accrescimento molte gemme ascellari non si sviluppano e restano dormienti sui rami. Alcune gemme possono svilupparsi successivamente in risposta a danneggiamento o in relazione a condizioni favorevoli. Il nuovo accrescimento è una reiterazione conforme al modello architettonico della pianta madre (Bell, 1998; Oldeman, 1974). In risposta a condizioni favorevoli si sviluppa la reiterazione adattativa mentre in risposta a un danneggiamento quella traumatica. La capacità di reiterazione ha una diversa potenzialità in specie arboree diverse e, in generale, negli alberi senescenti le reiterazioni hanno dimensioni ridotte (Bell, 1998).

Durante l'attività vegetativa annuale si formano nuove foglie, che sono organizzate in modelli regolari, con angoli divergenti e

Figura 6.3. *Quercus pubescens* nel suo ambiente naturale.

ben definiti fra le foglie successive che, con la loro attività fisiologica, consentono il mantenimento dell'intera struttura. La posizione delle foglie su una pianta condiziona la capacità d'intercettazione della luce e, di conseguenza, la capacità di fissazione del carbonio, che esprime la produttività potenziale. In un clima caratterizzato da condizioni uniformi, una pianta può crescere in modo continuo, producendo nuove ramificazioni senza fasi di dormienza. In un clima con un stagioni definite, in cui si determinano periodi favo-

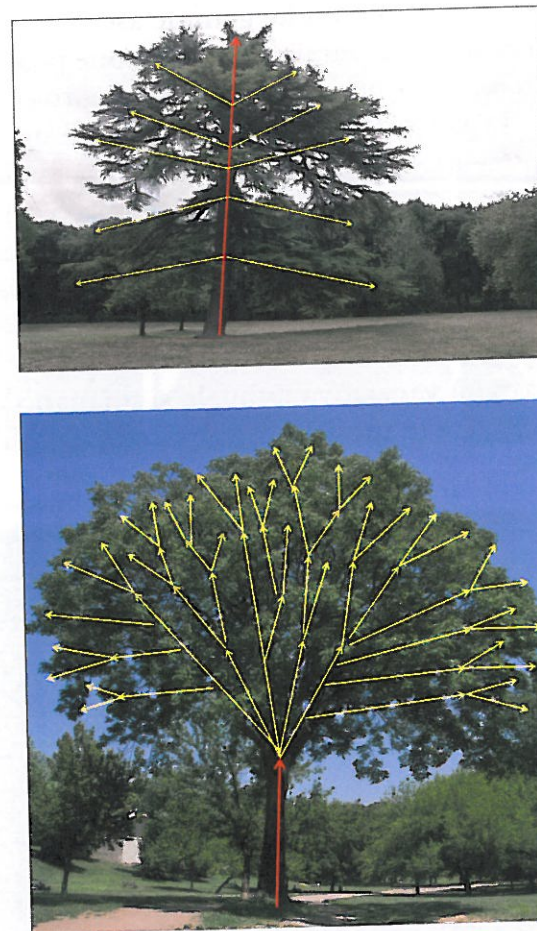



Figura 6.4. Ramificazione monopodiale caratteristica delle Conifere (in alto) e ramificazione simpodiale caratteristica della maggior parte delle Angiosperme Dicotiledoni (in basso).

revoli e sfavorevoli per la crescita l'accrescimento cessa durante la stagione fredda e rallenta durante il periodo di aridità.

In senso generale si può affermare che nelle piante ogni organo cresce seguendo un orientamento specifico in funzione della forza di gravità e della direzione di provenienza della luce. I cambiamenti di orientamento di organi quali i rami possono essere determinati da più fattori. Per molte specie il piegamento di un asse esistente si presenta come conseguenza naturale nel corso dello sviluppo ed è un elemento diagnostico di alcuni modelli di architettura. Tuttavia, le caratteristiche dell'ambiente di sviluppo, come la luce, la temperatura o la disponibilità dei nutrienti nel suolo, possono determinare variazioni strutturali negli individui di una stessa specie che crescono in ambienti diversi, rispetto al modello genetico. Fra le caratteristiche ambientali una grande importanza viene rivestita dal suolo, che deve consentire la crescita equilibrata dell'apparato radicale con la produzione costante di nuove radici.

Figura 6.5. Un individuo monumentale di *Celtis australis*.

Nella fase di senescenza un individuo arboreo trasforma la sua architettura in relazione a una ridotta capacità di funzionamento e il fusto può alterare il suo baricentro e i rami possono assumere funzione di fusti accessori. L'inizio della senescenza si può far coincidere con la fine della massima attività di sviluppo e differenziazione, tuttavia eventuali cause di danneggiamento possono accelerare tale processo. Durante la fase di senescenza può verificarsi la perdita di rami anche di notevoli dimensioni, che non sono più sostenibili a causa del decremento della fotosintesi della chioma, dovuto alla riduzione della densità delle foglie e della conduzione idraulica associata a una ridotta funzione radicale. Cause di danneggiamento o la perdita di alcune ramificazioni possono alterare la struttura dell'albero e accelerare il processo di senescenza.

Con la fase di senescenza dell'individuo aumenta la presenza di biomassa secca e si riduce la conduzione idraulica (Kozlowski, 1971; Day *et al.*, 2001). Il legno diventa meno uniforme a causa dell'attività discontinua del cambio e della perdita di funzionalità di molti vasi, associata ad una maggiore produzione di lignina, resina, fenoli e tannini e ad una ridotta produzione di alfa–cellulosa (Jane, 1970).

Figura 6.6. Un individuo monumentale di *Platanus orientalis*.

Tutto ciò determina una minore resistenza dell'individuo ai patogeni (Kozlowski, 1971; Fontanier e Jonkers, 1976).

Eventuali cause di danneggiamento, la diseguale attivazione delle gemme o la mortalità per cause naturali delle ramificazioni, possono alterare la struttura dell'albero e accelerare il processo di senescenza (Del Tredici, 2000). La senescenza può essere riferita alla condizione generale dell'intera pianta, sebbene sia difficile individuare esattamente l'inizio del periodo di senescenza nelle specie arboree, poiché il processo che regola tale meccanismo non è ancora del tutto chiarito (Bond, 2000). L'inizio della fase di senescenza si potrebbe far coincidere con la fine della massima attività di sviluppo e differenziazione (Ferrini, 2004), tuttavia eventuali cause di danneggiamento possono accelerare il processo (Del Tredici, 2000). Del Tredici (2000) ha sottolineato che l'età avanzata determina la mancanza di vigore dell'apparato radicale e della funzionalità delle ramificazioni.

Figura 6.7. Individuo senescente di *Celtis australis* (a sinistra) e di *Platanus orientalis* (a destra). Si può osservare il fusto cavo e le cicatrici lasciate da alcuni rami caduti.

6.1. Capacità di risposta ai fattori di stress

I fattori di stress dell'ambiente modificano la crescita di una pianta o parti di essa. La deformazione biologica è la risposta allo stress ed è espressa dal cambiamento o dalla riduzione di tale funzione. Si sottolinea l'importanza strategica degli interventi di potatura a carico delle alberature, finalizzati a risolvere problemi di contenimento e pericolosità attraverso l'eliminazione dei rami secchi in considerazione della stabilità dell'individuo e per evitare rischi per i fruitori, ma che tuttavia dovrebbero tenere in considerazione le differenze sostanziali fra i modelli dell'architettura di specie diverse, al fine di non vanificare gli effetti benefici delle piante sull'ambiente. Prima di eseguire una operazione di potatura si deve inoltre valutare lo stato fitosanitario della pianta e stabilire il periodo ottimale dell'intervento, ovvero quando la pianta è in riposo vegetativo, e il turno, ovvero la sua periodicità. Infatti, la potatura effettuata durante il periodo di attività vegetativa provoca un indebolimento generale della pianta, in quanto le sostanze di riserva che sono state utilizzate per formare i nuovi germogli non sono più disponibili e la grossa porzione degli stessi che viene eliminata non può contribuire all'attività fotosintetica dell'intera chioma. Le operazioni di potatura devono essere finalizzate a risolvere problemi di contenimento e pericolosità attraverso l'eliminazione dei rami secchi o malati, considerando la stabilità, che deve essere prioritaria. Si dovrebbe intervenire con potature massicce eliminando gran parte dei rami solo in casi eccezionali. È tuttavia importante mantenere, ove possibile, una corretta successione fra i diametri dei rami presenti per rispettare il modello architettonico della specie.

6.2. Gli alberi monumentali

In Italia un terzo della superficie è coperto da vegetazione (10.467.522 ha) che trattiene 486 milioni di tonnellate di carbonio. Ci sono almeno 20 miliardi di alberi (esclusi quelli coltivati) e fra questi 22.000 sono alberi di notevole interesse, di cui 2000 di pregio e 150 di eccezionale valore.

Alcuni individui arborei senescenti, in relazione alle loro caratteristiche genetiche e all'influenza dei fattori ambientali, possono essere

considerati alberi monumentali. Gli alberi monumentali, ovvero gli individui che per età e taglia possono essere considerati esempi di maestosità e longevità o quelli che hanno un preciso riferimento ad eventi storici o culturali (Gratani, 2010; 2011; Gratani e Bonito, 2013).

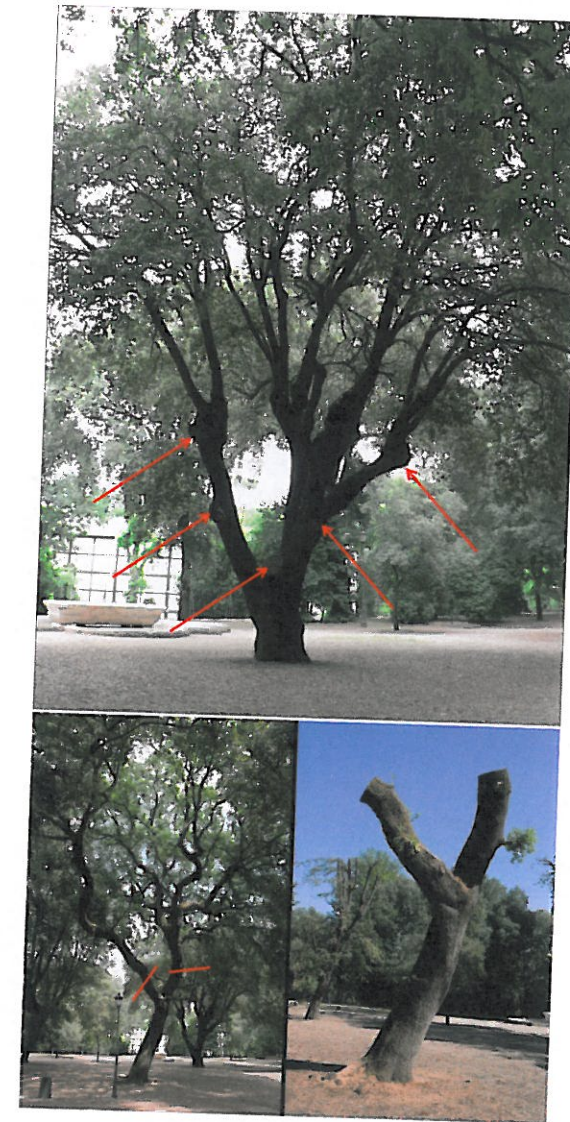



Figura 6.8. Esempi di potatura errata in individui di *Quercus ilex* (in alto) e di *Quercus pubescens* (in basso), quest'ultimo prima e dopo la potatura.

Sebbene gli alberi monumentali abbiano suscitato la curiosità e l'interesse dell'uomo sin dai tempi più remoti e siano stati oggetto di simbolismo in moltissime religioni, tuttavia la loro tutela è stata presa in considerazione solo in tempi recenti e attualmente si stanno facendo i primi passi per le modifiche legislative indispensabili per la tutela di tale patrimonio (Gratani, 2011). Per quanto riguarda gli alberi monumentali il periodo storico che va dal 1864 al 1890 segna l'inizio dell'opera di conservazione anche attraverso la realizzazione del Yosemite National Park e del Sequoia National Park, sebbene solo alla fine degli anni '90 le azioni in merito alla conservazione siano

Figura 6.9. Esempi di potatura errata che hanno determinato la completa alterazione del modello di architettura della specie. Dall'alto, in senso orario: *Ulmus minor*, *Quercus ilex*, *Platanus hybrida* e *Robinia pseudoacacia*.

risultate più consistenti. Negli Stati Uniti d'America il censimento degli alberi monumentali è iniziato nel 1940 e nel 1978 è stato realizzato il Registro Nazionale dei Grandi Alberi (National Register of Big Trees) per la tutela degli alberi monumentali.

Alcune specie possono raggiungere una elevata longevità come ad esempio:

— *Pinus aristata* può raggiungere 4600 anni
— *Sequoiadendron giganteum* 3200 anni
— *Ginkgo biloba* 3000 anni
— *Sequoia sempervirens* 2200 anni
— *Thuja placata* 2200 anni
— *Pinus cembra* 1200 anni
— *Fagus sylvatica* 600–900 anni

Figura 6.10. Individui monumentali di *Platanus orientalis* a Villa Borghese (Roma).

— *Pinus sylvestris* 500 anni
— *Pyrus communis* 300 anni
— *Carya spp.* 300 anni
— *Pinus pinea* 250 anni
— *Juglans nigra* 250 anni
— *Fraxinus excelsior* 250 anni
— *Prunus avium* 100–150 anni
— *Malus sylvestris* 80–100 anni

In Europa i criteri per definire un albero monumentale variano nelle diverse Nazioni (Lisa, 2011). In Italia la prima legge a sostegno del patrimonio forestale risale al 1877. Nel 1982 il Corpo forestale dello Stato (C.F.S.) ha dato il via al primo "Censimento Nazionale degli Alberi di Notevole interesse" notificando un patrimonio di 22.000 "alberi di notevole interesse" e di 150 di "eccezionale valore storico e monumentale" (Giordano, 2003) e nel 1990 sono stati pubblicati i due volumi "Gli Alberi Monumentali d'Italia. Isole e Centro Sud" (Alessandrini *et al.*, 1990a) e "Gli Alberi Monumentali d'Italia. Il Centro e il Nord" (Alessandrini *et al.*, 1990b). Tuttavia sebbene gli alberi monumentali rappresentino un patrimonio storico, culturale e biologico di inestimabile valore, sono ancora pochi gli strumenti legislativi per la loro tutela. Le regioni Emilia Romagna (legge n. 2 del 24 gennaio 1977), Abruzzo (legge n. 45 dell'11 settembre 1979), Sicilia (legge n. 31 del 7 giugno 1989),Valle d'Aosta (legge n. 50 del 21 agosto 1990), Friuli Venezia Giulia (legge n. 35 del 8 giugno 1993), Basilicata (legge n. del 28 giugno 1994), Piemonte (legge n. 50 del 3 aprile 1995), Toscana (legge n. 60 del 13 agosto 1998), Puglia (legge n. 14 del 13 agosto 1998), Liguria (legge n. 4 del 22 gennaio 1999), Veneto (legge n. 20 del 9 agosto 2002), Lazio (legge n. 39 del 28 ottobre 2002), Marche (legge n. 6 del 23 febbraio 2005), Campania (proposta di legge n. 44 del 28 settembre 2005), Trentino Alto Adige (legge n. 11 del 23 maggio 2007, Provincia Autonoma di Trento e legge n. 16 del 25 luglio 1970, Provincia Autonoma di Bolzano), Lombardia (legge n. 10 del 31 marzo 2008), Sardegna (proposta di legge n. 314 del 25 febbraio 2008) e Calabria (legge n.47 del 7 dicembre 2009) hanno approvato provvedimenti specifici per il censimento e la conservazione degli alberi monumentali (Lisa, 2011), sebbene si riscontrino differenze nella definizione stessa, condizionata dai differenti contesti territoriali.

Figura 6.11. Individuo monumentale di *Cupressus arizonica* all'interno di Villa Pamphilj.

Figura 6.12. Individuo monumentale di *Platanus orientalis*, con un'età stimata di oltre 300 anni, all'interno dell'Orto Botanico di Roma.

La Regione Lazio, ad esempio, ha posto l'accento anche sugli esemplari presenti nei centri urbani, all'interno delle ville storiche, degli orti botanici e dei giardini pubblici. La Regione, con la legge n. 39 del 28 ottobre 2002 detta norme per la tutela degli alberi monumentali di pregio naturalistico, storico, paesaggistico e culturale sia sulla proprietà pubblica che su proprietà privata presenti su tutto il territorio regionale.

Dal 2008 gli alberi monumentali sono stati riconosciuti tra quei beni immobili che possono essere dichiarati di notevole interesse pubblico e quindi annoverati nell'elenco dei beni paesaggistici. Conservare i modelli architettonici delle specie arboree e diffondere le informazioni sulla loro capacità di funzionamento può contribuire a sensibilizzare l'opinione pubblica sui problemi legati alla conservazione. Inoltre il Disegno di legge del 12 aprile 2011, approvato dal Senato della Repubblica, sottolinea l'importanza di iniziative nelle Scuole di ogni ordine e grado, nelle Università e negli Istituti d'Istruzione superiore, finalizzate a promuovere la conoscenza dell'ecosistema bosco, il rispetto delle specie arboree e l'educazione civica e ambientale sulla legislazione vigente, per stimolare un comportamento sostenibile al fine della conservazione della biodiversità. Sono inseriti in tale contesto anche "i filari e le alberature di particolare pregio paesaggistico, monumentale, storico e culturale, ivi compresi quelli nei centri urbani e gli alberi ad alto fusto presenti in particolari complessi architettonici d'importanza storica e culturale, quali ad esempio ville, monasteri, chiese, orti botanici e residenze storiche private". Entro un anno dalla data di entrata in vigore della presente legge le Regioni dovranno recepire la definizione di albero monumentale, effettuare la raccolta dei dati risultanti dal censimento dei Comuni e, sulla base degli elenchi comunali, redigere gli elenchi regionali e trasmetterli al Corpo Forestale dello Stato (CFS).La longevità è certamente uno dei fattori che maggiormente contribuisce a rendere un albero monumentale. La longevità è un tratto genetico che varia nelle diverse specie, ad esempio *Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) J.Buchholz, specie originaria della California, può raggiungere una età di 3000–3500 anni, *Ginkgo biloba* L., originaria delle montagne della Cina orientale, può superare i 3000 anni, mentre *Pinus pinea* L. non supera i 250 anni (Ganatsas e Thanasis, 2010). Il corredo genetico determina la capacità adattativa dell'individuo, ossia la sua capacità

di risposta ai fattori di stress, che, quando è alta, facilita il raggiungimento di una longevità elevata. Condizioni climatiche favorevoli allo sviluppo di alberi monumentali si riscontrano ad esempio in alcune zone degli Stati Uniti (in Arizona, California, Colorado, Nevada, New Mexico, Utah), dove crescono *Pinus longaeva* D.K.Bailey e *Pinus aristata* Engelm.Molti individui di queste due specie, che sono inserite nella Red List IUCN rispettivamente come VU (vulnerabile) e NT (quasi a rischio), possono raggiungere 4.800 anni. La loro struttura è il risultato dell'equilibrio fra la produzione di biomassa epigea e di quella ipogea (sono bonsai naturali) (Watson, 2004;) e rappresenta una espressione fenotipica dell'elevato grado di capacità adattativa (plasticità fenotipica) che consente a queste specie di alterare la loro architettura in risposta alle condizioni ambientali limitanti.

Figura 6.13. Aspetto autunnale di *Ginkgo biloba* all'Orto Botanico di Roma.

Ginkgo biloba è considerata un fossile vivente, poiché è l'unica specie sopravvissuta delle *Ginkgophyta* che cominciarono ad affermarsi nel Devoniano (395–345 milioni di anni fa), raggiunsero il massimo sviluppo nel Carbonifero (345–280 milioni di anni fa) e fino a 25 milioni di anni fa ricoprivano vasti territori boschivi dell'Asia, dell'Europa e del Nord America. Nelle rocce del Giurassico sono stati rinvenuti fossili di foglie di *Ginkgo biloba* risalenti a oltre 200 milioni di anni fa. *Ginkgo biloba* è originaria delle montagne della Cina nordorientale ed è ampiamente coltivata in Giappone. Attualmente individui wild sembrano essere limitati alla provincia di Zhejiang, in Cina, dove crescono nelle foreste di latifoglie fino a 1100 m di altitudine (Marinelli, 2005) e dove sono stati trovati esemplari di 3000 anni di età. La specie è stata introdotta in Europa all'inizio del XVIII secolo e coltivata nei giardini per la sua elevata valenza estetica e per la notevole capacità di resistenza ai fattori di stress. *Ginkgo biloba* è una specie eliofila particolarmente resistente alle basse temperature. Ha un fusto diritto che può raggiungere 40 m in altezza e una chioma piramidale che tende ad allargarsi con l'età. La scorza negli individui giovani è liscia e di color argento, mentre negli individui maturi è di colore marrone con numerose solcature. Le foglie, caduche, sono alterne e sorrette da un lungo picciolo, isolate sui macroblasti e a gruppi di tre o quattro sui brachiblasti; la lamina fogliare di forma flabellata, ha una superficie di

Figura 6.14. Foglie di *Ginkgo biloba*.

5–8 cm ed è caratterizzata da nervature parallele, che si dipartono dal picciolo ed hanno una profonda incisura mediana (Banfi e Consolino, 1996). È una specie dioica (strutture riproduttive maschili e femminili portate da individui diversi), con strobili maschili in cui i microsporangi sono portati a coppie sui microsporofilli, che sono disposti a spirale su un asse allungato. Negli strobili femminili gli ovuli sono portati su peduncoli isolati. L'impollinazione è anemofila e la fioritura è primaverile. La fecondazione avviene a terra all'inizio dell'autunno, quando gli ovuli si sono già distaccati dalla pianta madre. I semi, lunghi 1.5–2.0 cm e rivestiti da un involucro carnoso di colore giallo (sarcotesta), sono caratterizzati da un odore sgradevole a maturità a causa della liberazione di acidi carbossilici, in particolare acido butirrico. *Ginkgo biloba* viene usato nella medicina cinese da oltre 2000 anni ed è una specie inserita nella Red List IUCN con lo *status* EN (minacciata), a causa della distruzione del suo habitat e della sua scarsa capacità riproduttiva (Marinelli, 2005).

La senescenza negli alberi è messa in evidenza dal notevole spessore della scorza che disegna solcature sinuose di colore grigio su tutta la superficie del fusto e che, in numerosi punti, è mancante lasciando a vista aree evidenti di cicatrizzazione di colore rossastro. Inoltre, molti rami mostrano segni evidenti di auto–potatura e possono essere evidenti gibbosità di notevoli dimensioni, avvenute nel corso del tempo e causate da reiterazione traumatica.

Figura 6.15. Alterazioni della scorza in un individuo senescente di *Ginkgo biloba* presso Orto Botanico di Roma.

Bibliografia

Alessandrini A., Bortolotti L., Fazzuoli F., Mitchell A., Nievo S., Rigoni Stern M. *Gli Alberi Monumentali d'Italia. Isole e Centro Sud.* Vol. 1. Edizioni Abete, Roma, 1990a.

Alessandrini A., Bortolotti L., Fazzuoli F., Mitchell A., Nievo S., Rigoni Stern M. *Gli Alberi Monumentali d'Italia. Il Centro e il Nord.* Vol. 2. Edizioni Abete, Roma, 1990b.

Banfi E., Consolino F. *Alberi.* Istituto Geografico De Agostini, Novara, 1996.

Bell A.D. *La Forma delle Piante.* Zanichelli Editore, Bologna, 1998.

Bond B.J. *Age-related changes in photosynthesis of woody plants.* Trends Plant Sci., 2000, 5 (8): 349–353.

Day M.E., Greenwood M.S., White A.S. *Age-related changes in foliar morphology and physiology in red spruce and their influence on declining photosynthetic rates and productivity with tree age.* Tree Physiol., 2001, 21: 1195–1204.

Del Tredici P. *Aging and rejuvenation in trees.* Arnoldia, Winter 1999–2000, 2000: 10–16.

Ferrini F. *Management of monumental trees: review on the effects on physiological balance and on tree biomechanics.* International Congress on the Trees of History. Torino, 2004. 1–2 April 2004, Pp. 56–63.

Fontanier E.J., Jonkers H.. *Juvenility and maturity of plants as influenced by their ontogenetical and physiological aging.* Acta Horticulturae, 1976, 427: 37–44.

Ganatsas P., Thanasis G. *Pinus halepensis invasion in Pinus pinea habitat in Strofylia forest* (Site of NATURA 2000 network), southern Greece. J. Nat. Conserv., 2010. 18 (2): 106–117.

Garland S. *Il Giardino delle Aromatiche.* Centro Botanico, Milano, 1988.

Giordano N. *Patriarchi verdi testimoni muti della storia. Gli strumenti normativi regionali e le leggi dello Stato per la tutela degli alberi monumentali.* Il Forestale, 2003. 19: 15–17.

Gratani L. *L'Orto Botanico di Roma.* Fratelli Palombi Editori, Roma, 2010.

Gratani L. *Gli alberi monumentali espressione della plasticità fenotipica.* In: Casadei L. (a cura di). Il Regno di Giano: Boschi Sacri, Chiostri e Giardini a Roma e nel Lazio. CasadeiLibri Editore, Padova, 2011, pp. 169–195.

Gratani L., Bonito A. *Villa Borghese, Viali, Giardini e Alberi Monumentali.* Fratelli Palombi Editori, Roma, 2013.

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species.* 2011. Sito: www.iucnredlist.org.

Jane F.W. *The Structure of the Wood.* Adam & Carles Black, London, 1970.

Klijn J., Vos W.. *A new identity for landscape ecology in Europe: a research strategy for the next decade.* In: Klijn J., Vos W. (eds.). From Landscape Ecology to Landscape Science. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 2000, pp. 149–162.

Kozlowski T.T. *Growth and Development of Trees.* Academic Press, New York, 1971.

Leonardi C., Stagi F. *Architettura degli Alberi.* Edizioni Gabriele Mazzotta, Milano, 1998.

Lisa C. *Gli alberi monumentali: normative, conoscenza e tutela.* L'Italia Forestale e Montana, 2011, 66: 509–519.

Marinelli J. *Piante.* La Grande Enciclopedia Illustrata della Flora di Tutto il Mondo. Mondadori Electa, Milano, 2005.

Oldeman R.A.A. *L'Architecture de la forêt guyanaise.* Memoires O.R.S.T.O.M. 73. O.R.S.T.O.M., Paris, 1974.

Reinhardt D., Kuhlemeier C. *Plant architecture.* EMBO reports 2002, 3 (9): 846–851.

Watson G. *How to promote and enhance the root vitality on veteran trees: responses to natural and chemical products.* International Congress on the Trees of History. Torino, 2004, 1–2 April 2004, pp. 40–44.

Capitolo VII

Ecosistemi di tipo mediterraneo

Il clima Mediterraneo interessa cinque diverse parti del mondo isolate l'una dall'altra: il Bacino del Mediterraneo, la California (nell'emisfero settentrionale), il Cile Centrale, il Sudafrica e l'Australia Occidentale (nell'emisfero australe), tutte caratterizzate da un periodo di aridità estiva.

Il Bacino del Mediterraneo presenta un'aridità molto più intensa nel settore sud–orientale che nel settore nord–occidentale, influenzato dalla vicinanza dell'Atlantico. Altre zone climatiche nel mondo possono presentare caratteristiche simili di temperatura e piovosità totale ma non una simile distribuzione delle piogge; in alcune di queste zone manca, infatti, il periodo di aridità estiva, come in Giappone, Cina Meridionale e Georgia (USA), mentre in altre, come il Brasile Meridionale e l'Argentina a nord di Buenos Aires, il periodo arido è in inverno. Tali zone non possono essere considerate di tipo Mediterraneo.

Gli ecosistemi di tipo mediterraneo si sviluppano in condizioni di clima temperato caldo (temperatura media annua compresa fra 14 °C e 18 °C, piovosità totale variabile fra 300 mm e 1000 mm e aridità estiva). Comprendono forme di vegetazione di importanza mondiale e quelli che si sviluppano nelle aree intorno al Bacino del Mediterraneo sono generalmente associati a fiorenti Centri di sviluppo culturale e turistico, quindi soggetti a elevata pressione antropica.

Circa 65 milioni di anni fa nella futura regione Mediterranea c'era un clima subtropicale ed erano presenti specie sempreverdi laurifille che oggi sono relitti nelle Canarie, come ad esempio *Persea indica* (L.) Spreng. Si ipotizza che la vegetazione xeromorfa mediterranea si sia differenziata dalle laurifille. In seguito alla chiusura della soglia di Gibilterra che si è verificata 24 milioni di anni fa, il Bacino del Mediterraneo si era prosciugato e il clima nella Regione Mediterranea si era inaridito. 5 milioni di anni fa si è avuto un generale raffreddamento e

Tabella 7.1.

Area	N° specie	Percentuale di endemismi	Fonte
California	4.400	48	raven, 1988
Cile	2.400	50	Arroyo *et al.*, 1995; IUNC, 1994
Regione del Capo	8.550	68	Huntley, 1989; Bond & Goldblatt, 1984
SW Australia	8.000	75	Hopper, 1992
Bacino del Mediterraneo	25.000	50	Greuter, 1991; Blondel & Aronson, 1995

il Bacino del Mediterraneo si è riempito. In seguito si è specializzata la flora attuale.

Il Bacino del Mediterraneo è uno dei 34 hotspots mondiali di biodiversità e il 10% delle specie sono endemiche o esclusive delle isole, la maggior parte essendo rappresentate da pochissimi individui. È uno dei maggiori centri di biodiversità vegetale del mondo, che contiene il 10% (25.000) delle specie di piante superiori attualmente note (circa 250.000). Fra queste, almeno 100 specie arboree contribuiscono ai tipi forestali nel Bacino del Mediterraneo, comparate a circa 30 specie in tutta l'Europa centrale. La ricchezza di specie del Bacino Mediterraneo è legata inoltre all'elevato numero di endemismi, molti dei quali di aree sabbiose, isole e zone montuose. Il Bacino del Mediterraneo contiene circa 5.000 isole, diverse per le dimensioni, geologia e altitudine, che determinano una grande variabilità di habitat. In particolare la flora delle isole del Mediterraneo presenta una elevata percentuale di endemismi. La Corsica, ad esempio, ha una percentuale di endemismi dell'11% (240 endemismi su un totale di 2150 specie), Creta dell'11.7% (200/1710), la Sicilia del 9.7% (255/2402), le Baleari del 12% e le Canarie del 12.3 – 55.4%. Fra le specie a rischio (Blondel e Aronson, 1995; Montmollin e Strahm, 2005; Catoni e Gratani, 2013; Crescente e Gratani, 2013; Frattaroli *et al.*, 2013; Gratani *et al.*, 2008; 2009; 2011) *Viola ucriana* Erben & Raimondo (CR) si trova sul Monte Pizzuto vicino a Palermo (Sicilia) dove ci sono solo pochi individui e ci sono solo 250 individui di *Zelkova sicula* Di Pasq., Garfi & Quézel (CR) che crescono in una sughereta sul versante nord dei Monti Iblei (Sicilia). *Abies nebrodensis (Lojac.) Mattei* (CR) è una specie endemica per la Sicilia, dove cresce sui versanti aridi del Monte Scalone, nelle Madonie, con una popolazione costituita da meno di 50 individui. Nel 1900 si pensava che la specie fosse estinta, ma alcuni individui furono rinvenuti nel 1957 e la specie e stata coltivata *ex situ* dal Servizio Forestale dello Stato utilizzando semi raccolti dagli individui wild. Sono stati prodotti 110 individui di cui 40 sono stati piantati all'Orto Botanico di Palermo. *Silene hicesiae* Brullo & Signor. (CR), endemica delle Eolie, cresce a Panarea, dove ci sono 400 individui e ad Alicudi, dove ci sono circa 30 individui. *Limonium strictissimum* (Salzm.) Arrigoni (CR), endemica della Corsica e della Sardegna, cresce sulle coste granitiche e nell'isola di Capraia dove ci sono solo pochi individui e in Corsica con circa 1200. *Centaurea gymnocarpa* Moris & De Not. (EN) è endemica di Capraia, dove ci sono circa 250 individui. *Salvia veneris* Hedge (CR) cresce a Cipro dove ci sono pochi individui. *Astragalus macrocarpus* subsp. lefkarensis C.Agerer–Kirchhoff & Meikle (CR), cresce a Cipro dove ci sono solo pochi individui nella gariga dei versanti montani vicino al villaggio di Lefkara. *Ribes sardoum* Martelli (CR) cresce in Sardegna dove si trovano circa 100 individui. *Pleurotus nebrodensis* (Inzenga) Quél. (CR) è il solo fungo incluso nel top delle 50 del Mediterraneo (Montmollin e Strahm, 2005). Si trova solo nelle Madonne a 1200–2000 m (Sicilia). *Calendula incana* subsp. *maritima* (Guss.) Ohle (CR), endemica per la Sicilia, si trova solo fra Marsala e Monte Cofano dove ci sono pochi individui. Questa specie inclusa nel Progetto GENMEDOC (una Rete interregionale per la Conservazione delle Specie del Mediterraneo). *Allium calamarophilon* Phitos & Tzanoud. (DD) è endemica della Grecia dove pochi individui crescono ad una altitudine di 20–30 m.

L'elevata diversità di specie che caratterizza i sistemi vegetazionali presenti nel Bacino del Mediterraneo riflette modelli adattativi diversi, convergenti sul controllo della traspirazione. Il controllo della perdita di acqua attraverso la traspirazione fogliare è determinante soprattutto nel periodo di aridità, in cui lo stress idrico e le elevate temperature sono associati ad elevati livelli di irradianza. La combinazione di questi fattori favorisce, infatti, il surriscaldamento fogliare e determina alti tassi di traspirazione e fenomeni di fotoinibizione a carico dell'apparato fotosintetico, con ricadute negative sulla produttività. La produzione di biomassa dipende dalla capacità di fotosintetizzare mantenendo la quantità di acqua traspirata più bassa di quella assorbita.

Si prevede che il cambiamento climatico determinerà nella Regione Mediterranea un incremento dell'aridità, con cambiamenti nella presen-

Figura 7.1. Alterazioni dell'architettura di *Juniperus oxycedrus* ssp. *macrocarpa* in risposta ai fattori di stress all'ambiente delle dune costiere.

za e densità delle specie che attualmente sono presenti. Si ipotizza inoltre la riduzione della longevità fogliare, con un impatto variabile sulle specie sempreverdi, in relazione alle loro diverse capacità adattative.

L'attuale flora Mediterranea è un insieme di elementi (specie e generi) di cui alcuni derivano da un processo evolutivo avvenuto *in situ* (elementi indigeni), mentre altri hanno colonizzato la Regione Mediterranea da Regioni più o meno distanti e in periodi diversi (elementi pre–mediterranei o paleotropicali) (Blondel e Aronson, 1999). Fra le specie pre–Mediterranee, il genere *Phillyrea* ha una origine afro–tropicale (siti aridi, zone continentali dell'Africa, Miocene), *Erica* è migrata dalle montagne dell'Africa, e *Pistacia* si è evoluta nelle steppe dell'Asia centrale. Questi elementi (*taxa*) possono essere considerati primitivi con affinità tropicali o subtropicali. Fra gli elementi Mediterranei, *Arbutus*, *Cistus*, *Quercus* e *Rosmarinus*, sono considerati indigeni poichè si sono evoluti in tempi più recenti, in condizioni di clima Mediterraneo.

Le specie della stessa origine possono avere differenti tratti morfologici, anatomici, fisiologici e fenologici e differenti risposte all'aridità, poiché riflettono strategie adattative diverse. La ridotta area fogliare e l'elevata consistenza sono tratti che migliorano la resistenza all'a-

Figura 7.2. Individuo di *Abies nebrodensis* presso l'Orto Botanico di Roma.

ridità e riducono i danni fotochimici all'apparato fotosintetico, così come una elevata longevità fogliare e un apparato radicale profondo. In generale, le specie Mediterranee hanno un alto decremento della capacità fotosintetica in aridità ma una notevole capacità di recupero alle prime piogge che si verificano a fine estate. Fra le Mediterranee generalmente caratterizzate da un apparato radicale poco profondo, *Rosmarinus officinalis* è quella meglio adattata a brevi periodi di aridità, tuttavia la sua bassa tolleranza alle alte temperature (la fotosintesi si riduce di oltre il 50% a 33°C) quando i periodi di aridità si allungano o le temperature sono molto elevate perde circa il 50% delle sue

Figura 7.3. *Centaurea cineraria* subsp. *circae* in fiore. La specie è endemica del Lazio.

foglie. Tale specie può quindi essere utilizzata come indicatore del cambiamento climatico.

Fra le specie pre–Mediterranee *Phillyrea latifolia* ha il miglior adattamento a lunghi periodi di aridità, per le sue caratteristiche anatomiche e la longevità fogliare, che determina una notevole stabilità della bio-

Figura 7.4. Intervallo di temperatura che favorisce l'attività vegetativa nelle specie sempreverdi mediterranee.

massa nel corso dell'anno, e per la sua bassa sensibilità alle elevate temperature (la fotosintesi si riduce di oltre il 50% a temperature superiori a 37 °C).

Le aghiformi come *Erica arborea*, *Erica multiflora* e *Rosmarinus officinalis* sono caratterizzate da foglie di superficie inferiore ad 1cm², una simmetria dorsoventrale, margini revoluti, protetti da tricomi e una longevità inferiore ai 13 mesi (quella delle tipiche sclerofille è di 24–36 mesi, mentre quella delle semidecidue all'aridità di 5–8 mesi). Queste specie hanno una elevata efficienza quando l'acqua nel suolo è disponibile e la temperatura media dell'aria di 13–20 °C. Il genere *Erica* comprende circa 650 specie e si estende dall'Europa atlantica e mediterranea alle montagne africane, fino all'Africa meridionale. Il genere *Erica* presente nel Bacino del Mediterraneo è ritenuto un relitto della vegetazione montana subtropicale del Terziario, che si è differenziata nelle specie xerofile della Regione Mediterranea e in quelle più mesofite della regione atlantica, mentre il diffondersi delle specie sudafricane è spiegato con una espansione legata allo spostamento a sud delle zone calde. Le specie attuali del Mediterraneo sono *Erica arborea* e *Erica multiflora* e le specie attuali del Sud Africa sono *E. grandiflora*, *E. mammosa* e *E. ventricosa*.

Bioindicatori di clima Mediterraneo sono considerati *Olea europea* e *Quercus ilex*, con foglie consistenti e una vita media 2–3 anni. Per valutare gli effetti del cambiamento climatico sulla distribuzione

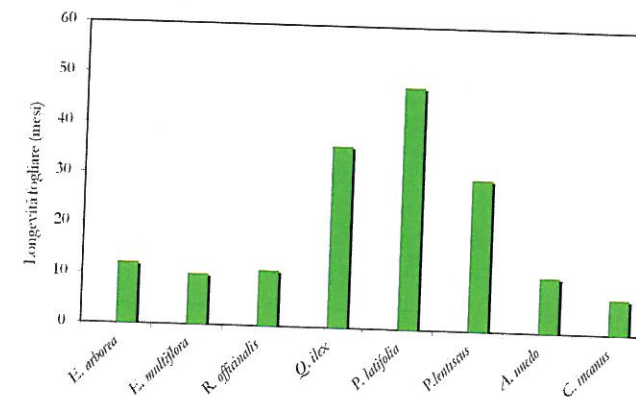



Figura 7.5. Longevità fogliare di specie sempreverdi della macchia mediterranea.

delle specie e, di conseguenza, sulla struttura ed il funzionamento degli ecosistemi è essenziale il monitoraggio nel lungo tempo utilizzando, ad esempio, le specie più sensibili ai fattori di stress o i tratti maggiormente discriminanti.

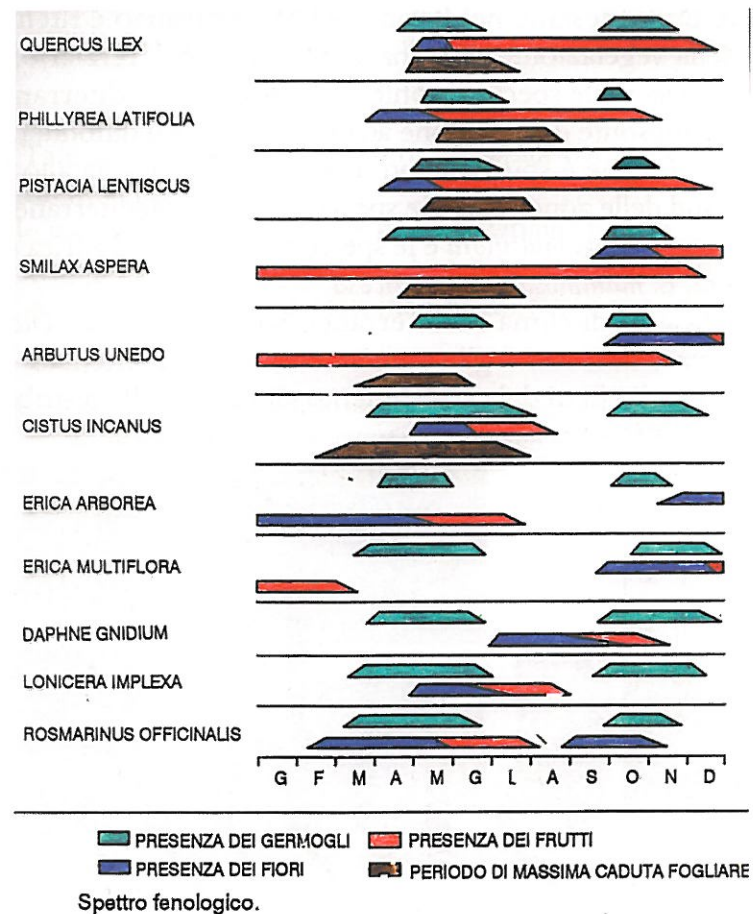



Figura 7.6. Spettro fenologico di specie sempreverdi della macchia mediterranea.

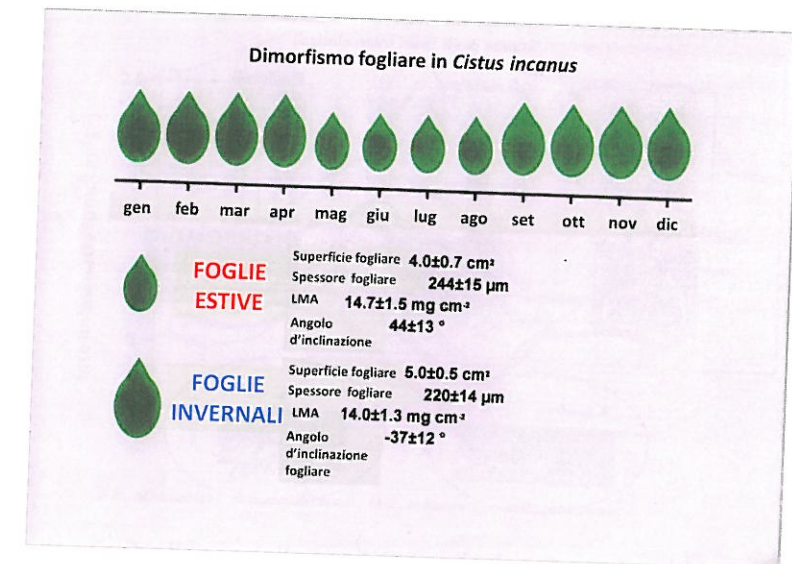



Figura 7.7. Dimorfismo fogliare in *Cistus incanus*.

	C. incanus Inverno	*C. incanus* Estate	*P. latifolia*	*Q. ilex*
Spessore lamina fogliare (µm)	201±14	244±15	338±18	310±21
Cuticola superiore (µm)	6.8±0.8	7.2±0.7	16.8±1.7	9.7±1.8
Cuticola inferiore (µm)	2.7±0.9	3.3±1.0	6.7±0.7	7.2±0.9
Epidermide superiore (µm)	20.7±3.1	22.3±3.5	19.9±3.1	14.1±1.4
Epidermide inferiore (µm)	9.7±0.9	10.8±1.0	15.8±1.8	9.3±0.8
Parenchima a palizzata (µm)	86.8±8.7	107.2±9.1	141.2±15.7	163.2±16.0
Parenchima lacunoso (µm)	74.7±12.0	93.1±12.1	138±16.6	106.4±15.5
Spessore palizzata/mesofillo	0.54±0.04	0.54±0.04	0.51±0.05	0.61±0.06
n° di strati cellulari palizzata	1	1	3	2
Densità cellulare (cell mm^{-2})	880±50	975±70	1960±100	2165±130
Volume spazi intercellulari (%)	36	39	29	32
LMA (mg cm^{-2})	11.9±1.7	14.7±1.5	21.3±2.2	21.3±1.9
LTD (g cm^{-3})	0.59±0.03	0.60±0.02	0.63±0.03	0.69±0.05

Figura 7.8. Caratteristiche anatomiche fogliari di *C. incanus*, *Q. ilex* e *P. latifolia*.

Volume degli spazi intercellulari

E. arborea 25 % | E. multiflora 26 % | R. officinalis 27 %

P. latifolia 29 % | Q.ilex 32 % | P. lentiscus 33 %

A. unedo 35 % | C. incanus 36 %

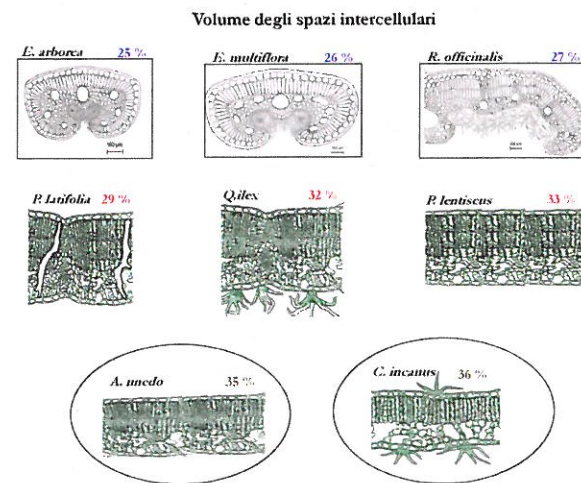



Figura 7.9. Volume (in %) degli spazi intercellulari nelle foglie di specie sempreverdi della macchia mediterranea.

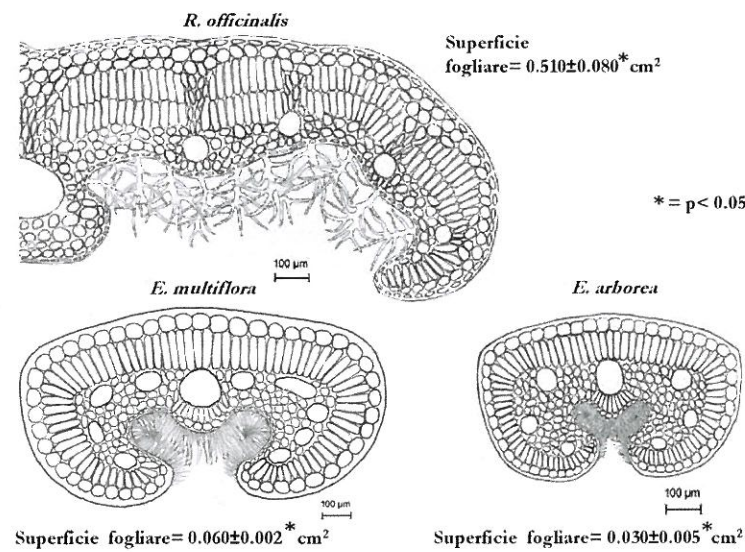



Figura 7.10. Superficie fogliare e spessore della lamina di *R. officinalis*, *E. multiflora* e *E. arborea*.

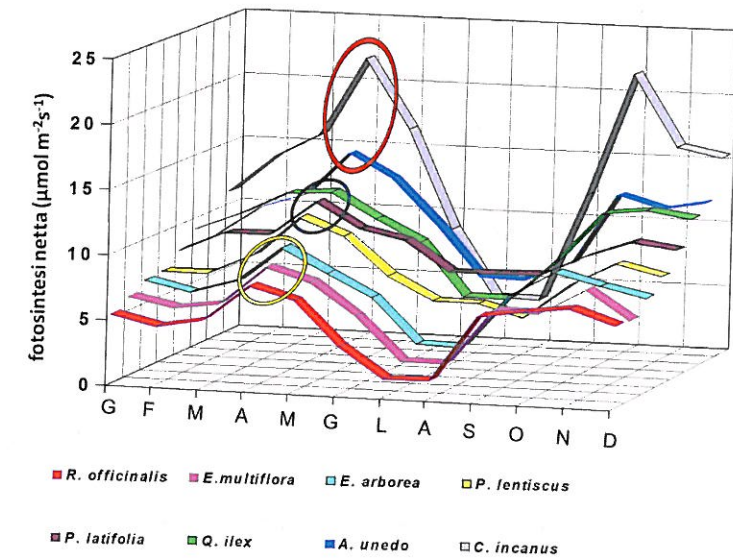



Figura 7.11. Andamento della fotosintesi netta di specie sempreverdi della macchia mediterranea nel corso dell'anno.

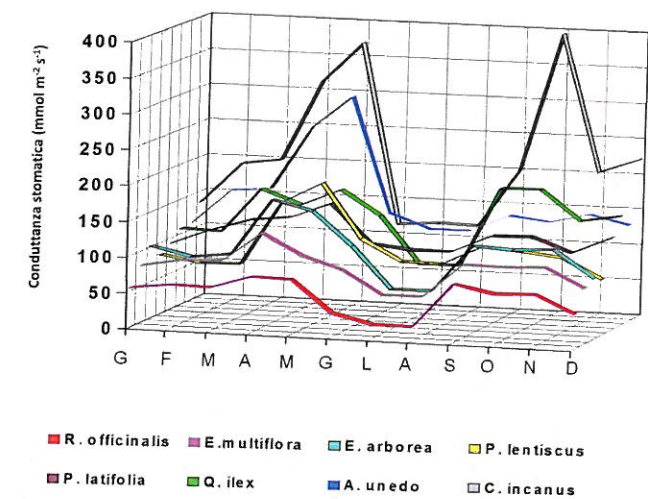



Figura 7.12. Andamento della conduttanza stomatica di specie sempreverdi della macchia mediterranea nel corso dell'anno.

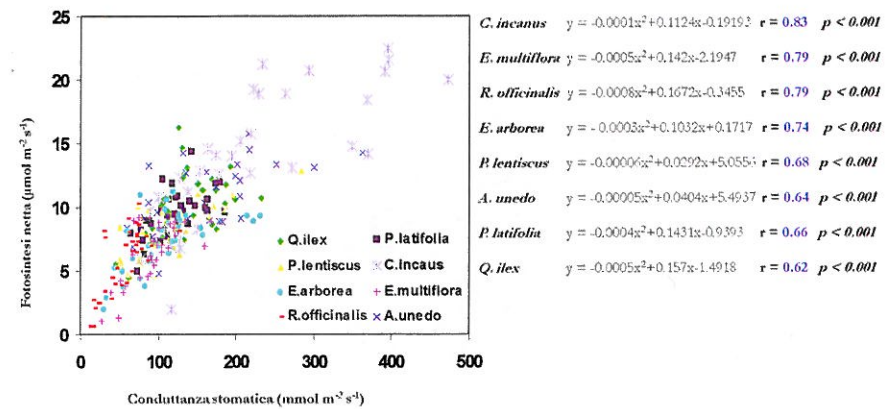



Figura 7.13. Correlazione tra i valori di fotosintesi netta e quelli di conduttanza stomatica di specie sempreverdi della macchia mediterranea. Sono mostrate le equazioni, il coefficiente di correlazione e la significatività.

Figura 7.14. Particolare dei frutti e delle foglie di *Phillyrea latifolia*.

Figura 7.15. *Erica multiflora* (a sinistra) e *Rosmarinus officinalis* (a destra).

Figura 7.16. Germoglio di *Quercus ilex*.

Bibliografia

Blondel J, Aronson J. *Biodiversity and ecosystem functions in the Mediterranean Basin: human and non–human determinants.* 1995 In: Davis G.W., Richardson D.M. (eds). Biodiversity and Ecosystem Function in Mediterranean–type Ecosystems. Ecological Studies, Vol. 109, Springer–Verlag, Berlin, Heildeberg, New York, 1995, pp. 43–119.

Blondel J, Aronson J. *Biology and Wildlife of the Mediterranean Region.* Oxford University Press, Oxford, 1999.

Catoni R., Gratani L. *Morphological and physiological adaptive traits of Mediterranean narrow endemic plants: the case of Centaurea gymnocarpa (Capraia Island, Italy).* Flora, 2013, 208: 174–183.

Crescente M.F., Gratani L. *Differences in morphological, physiological and growth traits between two endemic subspecies of Brassica rupestris Raf.: implication for their conservation.* Am. J. Plant Sci., 2013, 4: 42–50.

Frattaroli A.R., Di Martino L., Di Cecco V., Catoni R., Varone L., Di Santo M., Gratani L. *Seed germination capability of four endemic species in the Central Apennines in Italy: relationship between seed size and germination capability.* Lazaroa, 2013, 34: 43–53.

Gratani L., Crescente M.F., Fabrini G., Varone L. *Growth pattern of Bidens cernua L.: relationships between RGR and its physiological and morphological components.* Photosynthetica, 2008, 46: 179–184.

Gratani L., Crescente M.F., Fabrini G., Bonito A., Varone L. *Growth analysis of reestablished population versus natural population of Bidens cernua L. Plant Biosyst.* 2009, 143: S63–68.

Gratani L., Catoni R., Varone L. *Photosynthetic and leaf respiration activity of Malcolmia littorea (L.) R.Br. in response to air temperature.* Photosynthetica, 2011, 49 (1): 65–74.

Montmollin, B. de, Strahm, W. (Eds). *The Top 50 Mediterranean IslandPlants: Wild plants at the brink of extinction, and what is needed to save them.* IUCN/SSC Mediterranean Islands Plant Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, 2005.

Capitolo VIII

L'ecosistema urbano

L'ecosistema urbano, come tutti i sistemi, è una entità spazio – temporale definita dai livelli di integrazione delle sue componenti. La funzionalità del sistema è soggetta, nel corso del tempo, a variazioni dovute a processi dinamici o alterazioni di varia natura, e dipende dalle capacità di utilizzazione delle risorse disponibili (umane, naturali, archeologiche, storiche, economiche). Di conseguenza, la caratterizzazione degli elementi costituenti e l'individuazione delle dinamiche sistemiche sono prerequisiti fondamentali per una corretta pianificazione degli interventi in area urbana, nell'ambito di una moderna

Figura 8.1. Roma vista dal Pincio.

gestione, finalizzata all'ottimizzazione delle risorse (Gratani e Bonito, 2013).

Attualmente lo studio degli ecosistemi urbani rappresenta uno dei temi più dibattuti dell'ecologia ecosistemica, poiché circa il 50 % della popolazione mondiale vive in aree urbane. L'Europa è uno dei continenti più urbanizzati del pianeta ed il fenomeno è in continua crescita. Il processo di urbanizzazione degli ultimi cento anni ha modificato radicalmente il paesaggio attraverso la degradazione del suolo, l'inquinamento delle acque e l'aumento della temperatura (Donovan *et al.*, 2005). Inoltre l'ampliamento dei centri abitativi ha causato una sconnessione fisionomica fra il centro storico e le periferie, a cui si è aggiunto l'abbandono di gran parte delle aree agricole. Tutto ciò ha determinato un peggioramento della qualità della vita ed ha messo in evidenza come la qualità dell'aria in ambiente urbano sia parte integrante della tutela della salute umana dall'esposizione a sostanze inquinanti, i cui effetti sono documentati da un'ampia letteratura (OMS, 2010) e sottolineati dall'Agenzia Federale Americana per la Protezione dell'Ambiente (Environmental Protection Agency, EPA). Tutto ciò ha determinato un'amplificazione delle problematiche ambientali, in particolare, di quelle legate all'inquinamento, che è attualmente una emergenza sanitaria ed ecologica.

Nelle diverse definizioni di inquinamento è implicito il concetto che gli inquinanti abbiano un effetto negativo o comunque indesiderato sui ricettori biologici (uomo, piante ed animali), includendo anche tutti quegli effetti che si riflettono sui beni di valore economico (quantità della produzione, risorse genetiche, alterazione del patrimonio storico–archeologico) o ambientale (struttura e funzione degli ecosistemi).

Nei centri urbani densamente popolati e caratterizzati da una elevata movimentazione di mezzi pubblici e privati le fonti principali d'inquinamento sono il traffico veicolare e il riscaldamento domestico. L'elevato consumo di carburante in ambiente urbano è associato alle modalità di guida in condizioni di traffico elevato, con repentini cambi di velocità e frequenti fermate agli incroci. La densità del traffico varia significativamente nel corso della giornata e nei diversi mesi dell'anno (Stevanovic *et al.*, 2009; Gratani e Varone, 2005; 2006; 2007; Gratani *et al.*, 2000; 2008; 2009). Gli scarichi degli autoveicoli, derivanti in gran parte dalla combustione incompleta del carburante, dall'usura degli

pneumatici e dai residui degli oli lubrificanti, comprendono sostanze gassose, come il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NOx), gli ossidi di zolfo (SOx), l'anidride solforosa (SO_2), gli idrocarburi incombusti, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), i metalli e il particolato carbonioso. Per quanto riguarda l'inquinamento da metalli legato al traffico auto–veicolare, questi vengono emessi sotto forma di particolato di minuta granulometria (PM 0.001–10 micron); le particelle maggiori di 10 micron vengono abbattute al suolo dalla pioggia, mentre quelle di dimensioni inferiori (PM 2.5 micron) possono aumentare il loro volume per coalescenza e rimanere in atmosfera per lunghi periodi (10–30 giorni). L'emanazione di alcune normative a livello nazionale e/o regionale, fra cui quella relativa all'introduzione della benzina verde (nel 1989) e alla marmitta catalitica (nel 1993), hanno contribuito a ridurre la concentrazione del piombo nel particolato (dal 1975 al 1999), a cui si è aggiunta la realizzazione delle zone a traffico limitato (ZTL), che hanno determinato una riduzione della concentrazione dei metalli nelle aree interessate (Gratani *et al.*, 2000; Gratani *et al.*, 2008; Gratani *et al.*, 2009). Attualmente in Italia la normativa sugli inquinanti atmosferici si basa sul Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155.

La letteratura internazionale sottolinea la relazione fra l'innalzamento dei livelli d'inquinamento atmosferico (gassoso e particellare) e l'espansione urbanistica, che determina un conseguente aumento di persone che vivono nei siti urbani. Gli attuali livelli d'inquinamento sono responsabili dell'80% della concentrazione atmosferica di anidride carbonica (CO_2), uno dei più importanti gas serra, che a livello globale è passata da 280 parti per milione (ppm) del livello preindustriale a 390 ppm attuali e si prevede che raggiungerà 1000 ppm alla fine del secolo (Bunce, 2012). Un ulteriore aumento di tali gas potrebbe portare ad un innalzamento della temperatura media del globo di circa 3°C per l'anno 2100 (Mitchell *et al.*, 2011).

Di conseguenza la riduzione della concentrazione di CO_2 è il principale obiettivo della Decisione del Parlamento Europeo (n 406/2009/CE), che impegna i Paesi della UE a ridurre del 20% le emissioni di gas serra, accrescere l'efficienza energetica del 20% e aumentare le energie rinnovabili del 20% entro il 2020 e la pianificazione del territorio dovrebbe considerare tutte le strategie utili a migliorare la qualità dell'aria. L'Unione Europea (Copenhagen, dicembre 2009), in

linea con l'obiettivo della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), ha ribadito l'impegno ad una riduzione delle emissioni di CO_2 in atmosfera del 20% entro il 2020 e dell'80–95% entro il 2050 (Mitchell *et al.*, 2011). La Direttiva 2009/33/CE impone di abbattere le emissioni di CO_2 nelle automobili di nuova costruzione a 120g/km (obiettivo raggiungibile tra il 2012 e il 2015) e a 95 g/km nel 2020. La Direttiva Quadro 96/62/CE sulla qualità dell'aria ambiente, recepita dall'Italia con il Decreto Legge del 4.8.1999 n.351, fornisce, inoltre, un quadro di riferimento per il monitoraggio delle sostanze inquinanti da parte degli Stati Membri.

Tuttavia i fattori che influenzano la concentrazione degli inquinanti in area urbana sono molteplici ed includono:

— la tipologia del sito urbano
— le caratteristiche fisiche dell'ambiente
— il clima
— il volume e la tipologia del *verde* (quello naturale e quello utilizzato per l'arredo urbano)
— la tipologia e le dimensioni del parco auto circolante, la qualità e quantità dei carburanti consumati e la velocità di marcia (l'uso di marce basse in condizioni di traffico intenso comporta emissioni aggiuntive di notevole entità)
— la tipologia delle sorgenti di emissione

Figura 8.2. Traffico veicolare nella città di Roma, davanti al Campidoglio.

Nell'ambito delle strategie finalizzate al miglioramento della qualità dell'aria in area urbana, un ruolo importante può essere svolto dalle specie arboree che, in base alle loro caratteristiche (altezza, volume della chioma, tipologia delle foglie, longevità delle foglie, *habitus*), possono contribuire positivamente sottraendo anidride carbonica dall'aria (attraverso il processo fotosintetico), mitigando la temperatura (attraverso la traspirazione e l'ombreggiamento) e riducendo la quantità di particolato atmosferico (attraverso il deposito superficiale ed interno ai tessuti fogliari) (Gratani *et al.*, 2000; 2008; 2009).

In tale contesto si sottolinea il ruolo del "verde urbano", inteso come l'insieme dei parchi e delle ville urbane, dei viali e dei giardini, un tempo utilizzato nella pratica urbanistica per caratterizzare

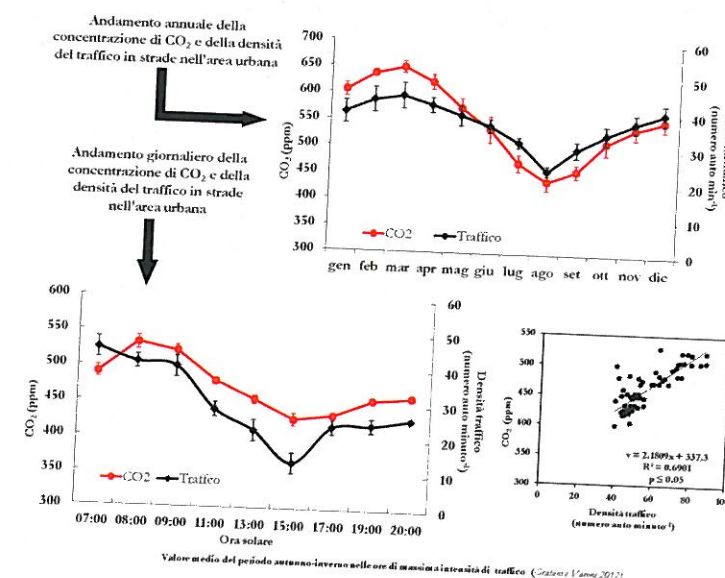



Figura 8.3. Andamento annuale e giornaliero della concentrazione di CO_2 e della densità del traffico autoveicolare nell'area urbana di Roma. In basso a destra è rappresentata la correlazione fra la concentrazione di CO_2 e la densità del traffico.

le connotazioni funzionali, acquista oggi un valore nuovo, legato al miglioramento della qualità dell'aria. In particolare la presenza di specie arboree può contribuire a ridurre gli effetti dell'inquinamento soprattutto attraverso la chioma che, occupando un volume attivo notevolmente più grande di quello del fusto, offre una maggiore superficie d'impatto. Le chiome delle specie arboree e arbustive hanno inoltre un ruolo significativo nell'accumulo dei metalli presenti nel particolato, di cui il 35% in media viene accumulato nei tessuti fogliari interni e il resto sulla superficie fogliare (Gratani *et al.*, 2000; 2008; 2009). Inoltre le specie arboree contribuiscono ad abbassare i livelli di CO_2 atmosferica attraverso la fotosintesi, accumulando gli eccessi sotto forma di biomassa (carbon storage). La capacità di sequestro tuttavia dipende dalla specie e dall'età dell'individuo. In generale un individuo arboreo giovane accumula rapidamente carbonio fino alla fase di maturità, mostrando un declino nella fase di senescenza. In particolare il 51% circa del carbonio è accumulato nel tronco, il 30% nei rami, il 2% nelle foglie e il 17% nelle radici (Birdsey, 1992).

La capacità di sequestro del carbonio varia in media da 16 Kg/anno per i piccoli alberi a 360 Kg/anno per i grandi alberi (Nowak *et al.* 2006). Studi effettuati in questo settore hanno sottolineato una capacità di sequestro dell'anidride carbonica di 1854 Kg/anno (corrispondenti a 506 Kg/anno di C) nella roverella (*Quercus pubescens* Willd.), di 1512 Kg/anno (413 Kg/anno di C) nel leccio (*Quercus ilex* L.), di 1509 Kg/anno (412 Kg/anno di C) nel platano ibrido (*Platanus hybrida* Brot.) e di 598 Kg/anno (163 Kg/anno di C) nel pino domestico (*Pinus pinea* L.). Per trasformare il CO_2 in C si utilizza il coefficiente stechiometrico $C/CO_2 = 0.273$, in accordo a Evrendilek *et al.* (2006).

Come esempio significativo del ruolo che le specie arboree possono svolgere in città si può citare il contributo di un viale alberato con individui di platano ibrido che, per una lunghezza di 1000 m e con la presenza di 200 alberi, arriva a sequestrare 259.200 Kg/anno di CO_2, corrispondenti a 70.764 Kg/anno di carbonio (Gratani e Varone, 2007), con un impatto positivo anche nelle aree circostanti.

Si sottolinea il ruolo che le specie sempreverdi, rispetto alle caducifoglie, svolgono anche in inverno nelle città caratterizzate da clima mediterraneo, quando il traffico raggiunge il picco massimo e gli impianti di riscaldamento sono in funzione.

Il "verde pubblico" rappresenta uno degli standard urbanistici e il di-

segno di legge nazionale n. 4290 (maggio 2011) si propone di incentivare lo sviluppo degli spazi di "verde urbano", attraverso l'introduzione di alcune iniziative di promozione e divulgazione della conoscenza dei temi del patrimonio arboreo e della sostenibilità ambientale. Inoltre,

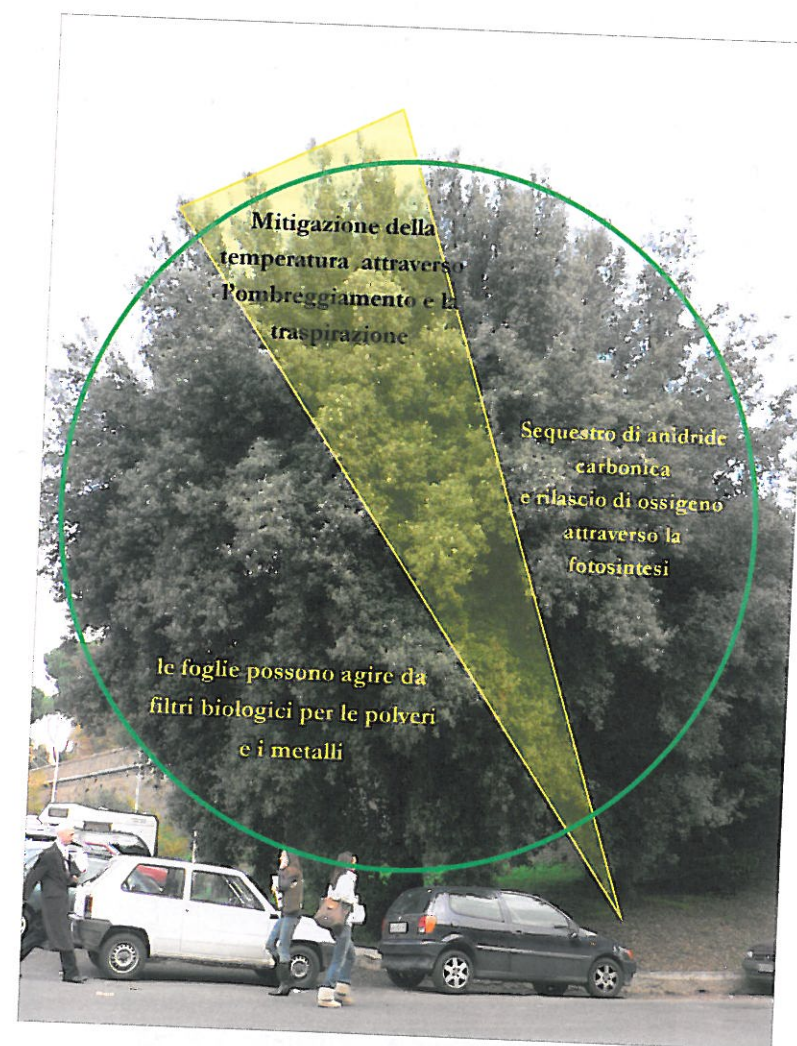



Figura 8.4. Le specie arboree nel contesto urbano possono contribuire al miglioramento della qualità dell'aria sottraendo anidride carbonica (attraverso la fotosintesi), mitigando la temperatura (attraverso la traspirazione e l'ombreggiamento) e riducendo la quantità di particolato atmosferico (attraverso il deposito superficiale ed interno ai tessuti fogliari).

le chiome degli alberi, attraverso l'ombreggiamento e la traspirazione, contribuiscono a ridurre la temperatura dell'aria (Gratani e Varone, 2006; Gratani *et al.*, 2009), come già detto, mitigando l'effetto "isola di calore" con sensibili riduzioni del consumo energetico dovuto all'utilizzo di condizionatori (Akbari, 2002). In estate, ad esempio, si riscontrano differenze significative di 2–3 °C nella temperatura dell'aria fra il centro di Roma e le aree extraurbane (Gratani *et al.*, 2008).

Negli ultimi anni gli studi a livello internazionale sono mirati allo sviluppo di modelli che possono quantificare il ruolo delle specie arboree nel rimuovere gli inquinanti dall'atmosfera, tuttavia questi modelli necessitano di dati sulle caratteristiche strutturali e funzionali delle specie presenti in area urbana (taglia, longevità, tipologia della foglia, volume della chioma) e sulla capacità di adattamento ai diversi livelli

Figura 8.5. Un viale alberato con 200 individui di platano ibrido arriva a sequestrare, in un tratto di 1000 m, 259.200 Kg/anno di CO_2, corrispondenti a 70.764 Kg/anno di carbonio (Gratani e Varone, 2007).

d'inquinamento, che si esplica attraverso la variazione di tratti fenologici (longevità fogliare), morfologici (superficie fogliare specifica, SLA e massa fogliare specifica, LMA) e strutturali (volume della corona). Tali tratti possono essere utilizzati per il monitoraggio del sistema urbano. Le specie i cui tratti cambiano in relazione alla variazione dei livelli d'inquinamento possono essere considerate bioindicatori.

Comprendere la dinamica dell'inquinamento in area urbana richiede ricerche mirate per capire i fattori maggiormente implicati e legati alle caratteristiche climatiche, a quelle urbanistiche e ai flussi autoveicolari. Risulta quindi evidente l'importanza di realizzare una banca dati sulle specie che maggiormente contribuiscono al miglioramento della qualità dell'aria e all'individuazione dei tratti chiave (parametri la cui variazione è l'espressione di risposta all'inquinamento), che possono essere utilizzati per il monitoraggio e per una corretta la pianificazione di interventi gestionali finalizzati all'ottimizzazione delle risorse, con risultati positivi per la salute dei cittadini (Gratani e Bonito 2013).

In tale contesto l'Unione Europea, in linea con l'obiettivo della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), ha approvato le strategie per una politica integrata su

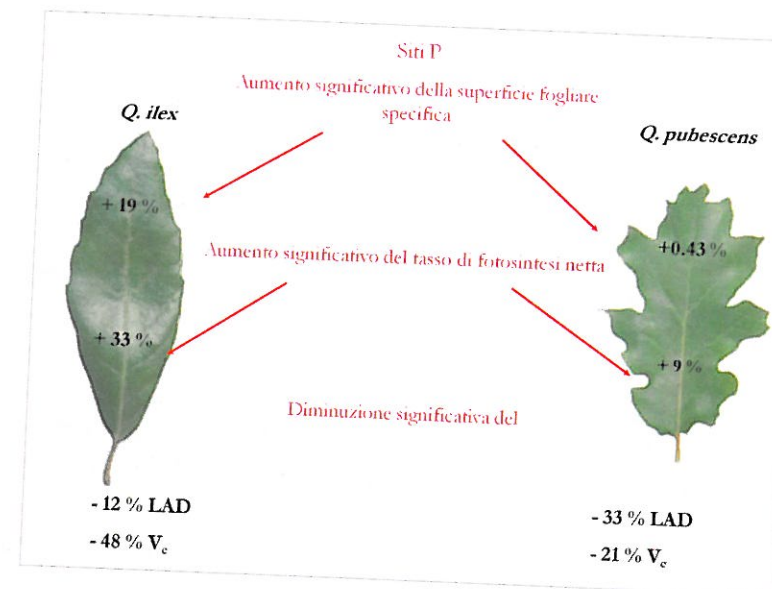



Figura 8.6. Variazioni dei parametri morfologici fogliari di *Quercus ilex* e *Quercus pubescens* in aree inquinate.

energia e ambiente, finalizzata a limitare l'incremento della temperatura media sulla superficie della terra al di sotto dei 2 °C rispetto ai livelli pre–industriali ed ha ipotizzato di rendere più rigoroso l'obiettivo portandolo a 1.5 °C nel 2015, con una riduzione delle emissioni dei gas serra del 50% entro il 2050.

Una ulteriore tipologia d'inquinamento in ambiente urbano è quella dovuta al rumore (noise pollution), definito come il terzo maggiore fattore inquinante nel mondo dalla World Healt Organization (Khilman, 2004), poiché incide negativamente sulla salute umana. Nei Paesi dell'Unione Europea 80 milioni di persone (circa il 20% della popolazione) vivono nelle "black areas", in cui il livello di rumore è considerato inaccettabile quando supera 65 decibels, mentre 170 milioni di persone vivono nelle "grey areas" con un livello di rumore compreso tra 55 e 65 decibels. È stato dimostrato che il rumore causa fenomeni di stress e alterazione di processi fisiologici fra cui un innalzamento della pressione sanguigna, deficit cognitivi, disturbi del sonno e problemi del comportamento (Öhrström, 2004; Babisch *et al.*, 2005; Bluhm *et al.*, 2007). La diminuzione sistematica del numero di persone esposte all'inquinamento acustico è uno dei principali obiettivi delle attuali politiche comunitarie e la Direttiva END 2002/49/CE, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale, definisce gli indirizzi destinati agli Stati Membri, al fine di consentire un approccio unitario e condiviso. Negli ultimi anni la letteratura internazionale sottolinea il ruolo degli elementi del verde urbano anche nel ridurre l'inquinamento acustico (Maleki *et al.*, 2010) e le alberature e le siepi risultano essere particolarmente efficienti (Fan *et al.*, 2010; Maleki *et al.*, 2010; Gratani e Varone, dati non pubblicati).

Da quanto detto si evince come un approccio corretto alla complessa tematica del verde urbano debba partire da una visione ecosistemica dello stesso, che consideri cioè le interazioni fra la città e il territorio circostante (Kordowski e Kuttler, 2010), sottolineando il ruolo chiave svolto dalle "aree verdi" quali servizi ecosistemici che contribuiscono al bene fisico e mentale della popolazione, con ricadute dirette o indirette sui flussi monetari.

Il concetto di servizi ecosistemici (ecosystem services) si è sviluppato negli ultimi anni all'interno della corrente dell'economia ecologica, con i contributi di ecologi, sociologi ed economisti, che hanno elaborato teorie e tecniche per l'analisi e la valutazione dei molteplici

beni e servizi forniti dagli ecosistemi naturali alla società. Per servizi ecosistemici si intendono quei benefici legati agli ecosistemi, come ad esempio l'ecosistema urbano nel suo insieme, oppure i parchi, le ville storiche e i viali, che influenzano la qualità della vita, con ricadute dirette o indirette sul mercato, generando ricchezza in termini di flussi monetari. Tra i settori economici che più direttamente beneficiano della presenza di aree verdi c'è quello turistico, che vede nella componente paesaggistica uno dei fattori critici più importanti per la qualità e l'immagine dei servizi offerti.

Tutto ciò sottintende una politica attenta, che incorpori gli obiettivi della conservazione nelle direttive governative, attribuendo loro un impegno finanziario comparabile a quello dei programmi di sviluppo economico, che dovrebbe essere finalizzato al mantenimento della potenzialità delle risorse per le generazioni future.

Tuttavia, sebbene il contributo del verde alla sostenibilità locale sia relativamente acquisito, è invece scarsamente considerato nella pratica della gestione e della pianificazione urbana. Al contrario, nei progetti di pianificazione il "verde" dovrebbe assumere il ruolo di sistema sul quale fondare lo sviluppo dell'area urbana, anche in considerazione di precise esigenze di salute pubblica e di recupero di aree degradate, incluse le periferie. Numerose esperienze urbanistiche di questo genere

Figura 8.7. Alberature e siepi in ambiente urbano.

sono riscontrabili in Europa e in America (Ascarelli, 1997; Georgi e Zafiriadis, 2006), considerando che proprio come strade, ponti e case costituiscono il *capitale costruito* delle città, alberi, arbusti e prati ne rappresentano il *capitale naturale*, ovvero l'infrastruttura che connette e si integra nel tessuto urbano (Bowler *et al.*, 2010).

A tale proposito negli ultimi dieci anni, in Europa, la città come modello di aggregazione sociale, culturale ed economico è stato uno dei temi principali delle politiche per lo sviluppo sostenibile, anche attraverso la pianificazione sociale e la tutela dell'ambiente. In tale contesto l'Unione Europea, nel quadro delle principali politiche settoriali e alla luce dei fenomeni ritenuti attualmente più importanti, come la povertà, la marginalità sociale, la disoccupazione, l'inquinamento e la sicurezza, a partire dagli anni novanta ha posto la città al centro del dibattito culturale e politico.

Considerando l'elevato numero di persone a livello mondiale che vivono in aree urbane, le "aree verdi" possono diventare luoghi di elezione per mettere a fuoco le problematiche legate alla conservazione della diversità, includendo quella dei beni storici, artistici, naturalistici e paesaggistici.

Da quanto detto si può sintetizzare sottolineando che il "verde urbano" può contribuire a migliorare la qualità dell'aria e quindi della vita nell'ambiente urbano, in particolare:

— Le specie arboree ed arbustive possono migliorare la qualità dell'aria attraverso la loro capacità di accumulo degli inquinanti (*l'approfondimento di tali conoscenze consentirebbe di migliorare la qualità ambientale intervenendo direttamente nella scelta delle specie per l'arredo urbano*)
— La chioma degli alberi e degli arbusti (le cui caratteristiche variano in relazione alla specie, all'età e alla capacità produttiva), attraverso l'ombreggiamento e la traspirazione, contribuisce a ridurre la temperatura dell'aria mitigando l'effetto "isola di calore" della città (*l'approfondimento di tali conoscenze consentirebbe di realizzare riduzioni del consumo energetico dovuto all'utilizzo di condizionatori con ricadute positive sull'economia*)
— La chioma degli alberi e degli arbusti riduce il fenomeno della risospensione in aria del particolato che, in relazione alle caratteristiche urbanistiche, determina un aumento dei livelli d'inquinamento (*anche in questo caso l'uso idoneo di specie arboree o arbustive consentirebbe di limitare questo fenomeno che andrebbe anche considerato nella progettazione di nuove aree*)
— La funzione di sink della CO_2 conferisce alle piante un ruolo fondamentale nel rallentare il fenomeno del riscaldamento globale attraverso il sequestro del biossido di carbonio, che varia in relazione alla specie e alla funzionalità della pianta (*questo fattore andrebbe considerato nella progettazione del verde urbano e nella manutenzione dello stesso per non annullarne gli effetti attraverso potature non corrette*)
— La funzione del verde urbano nel ridurre l'inquinamento acustico varia in relazione alla tipologia di siepe utilizzata, alla sua altezza e posizionamento e limita inoltre le polveri sottili e la concentrazione di anidride carbonica (*questa potenzialità andrebbe considerata nella progettazione di aree urbane, nella riqualificazione di zone ad elevato inquinamento, nel miglioramento dei corridoi per il passaggio del tram, nell'uso degli spartitraffico, nelle barriere in strade urbane ad elevato traffico come ad esempio nel caso della tangenziale*)

8.1. Stima dello stoccaggio di carbonio

La quantità di carbonio (C) totale stoccato nella vegetazione varia in relazione alle diverse frazioni della massa vegetale, ovvero: la biomassa viva, ripartita in epigea (fusti, rami, foglie) e ipogea (radici, rizomi, stoloni), la sostanza organica morta (detta anche DOM, Dead organic Matter), suddivisa in necromassa (organismi morti) e lettiera (sostanza organica morta in decomposizione sulla superficie del suolo) e il suolo.

La quantità di carbonio stoccata in ognuno di questi compartimenti viene calcolata attraverso specifiche equazioni e fattori di moltiplicazione. Il particolare la biomassa epigea è calcolata attraverso l'uso di equazioni dendrometriche a singola e a doppia entrata, definite da Castellani (1982), Gualdi (1974), Susmel e al. (1976), mediante l'inserimento dei valori di diametro e/o altezza delle specie considerate. Il carbonio stoccato nella biomassa epigea viene poi ricavato moltiplicando quest'ultima per 0.5, come indicato nella IPCC (1997) e in

Vitullo *et al.* (2007). Una volta ottenuti i valori di biomassa e carbonio epigei, vengono ricavati da questi i valori per gli altri compartimenti.

Il carbonio stoccato nella biomassa ipogea viene calcolato moltiplicando il carbonio epigeo per il fattore R (Root/shoot), che a sua volta varia in relazione alla specie, come indicato in Vitullo *et al.* (2007), ad esempio è 0.62 per le specie della macchia mediterranea, 0.43 per piantagioni di eucalipti e 0.20 per i boschi di faggio.

Il carbonio contenuto nella necromassa si ricava moltiplicando la biomassa epigea per un fattore di conversione detto DCF (Dead Conversion Factor), che risulta 0.20 per le specie sempreverdi, 0.14 per le specie caducifoglie, come evidenziato da Penman *et al.* (2003).

Infine, il carbonio stoccato nella lettiera e quello nel suolo sono ottenuti dal valore del carbonio epigeo, mediante specifiche equazioni, in relazione alla specie, come indicato da Vitullo *et al.* (2007).

Figura 8.8. Specie utilizzate per la realizzazione di siepi nella città di Roma. Dall'alto, in senso orario: *Nerium oleander* L., *Pyracantha coccinea* M.Roem, *Pittosporum tobira* (Thunb.) W.T.Aiton e *Laurus nobilis* L.

8.2. Capacità di sequestro dell'anidride carbonica

La capacità di sequestro della CO_2 totale annua (t CO_2 $anno^{-1}$) a livello di albero o di sistema può essere calcolata moltiplicando la fotosintesi totale della chioma (FTC, t CO_2 h^{-1}) per il numero di ore di attività fotosintetica annuale (FT_H) (Gratani e Varone, 2006). FTS viene calcolata moltiplicando la superficie fogliare totale (SFT, m^2) per il tasso fotosintetico medio annuale (TF_A, µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), dove SFT è calcolata moltiplicando il valore di LAI (a massima espansione fogliare) per la proiezione al suolo della copertura fogliare (m^2). Il numero di ore di attività fotosintetica annuale (FT_H) si ottiene sommando le ore medie mensili di fotosintesi netta nel corso dell'anno.

L'ammontare di CO_2 sequestrato viene convertito in C equivalente usando il coefficiente $C/CO_2 = 0.273$, definito da Evrendilek *et al.* (2006). A titolo di esempio si riporta di seguito la capacità di sequestro calcolata per una villa storica presente a Roma, Villa Doria Pamphilj.

La Villa, appartenuta dal 1630 alla Famiglia Pamphilj si estende per 184 ha nel quartiere di Monteverde e in quello Gianicolense, è attraversata da nord a sud dalla Via Leone XIII, delimitata al confine settentrionale dalla Via Aurelia Antica e a quello meridionale da Via

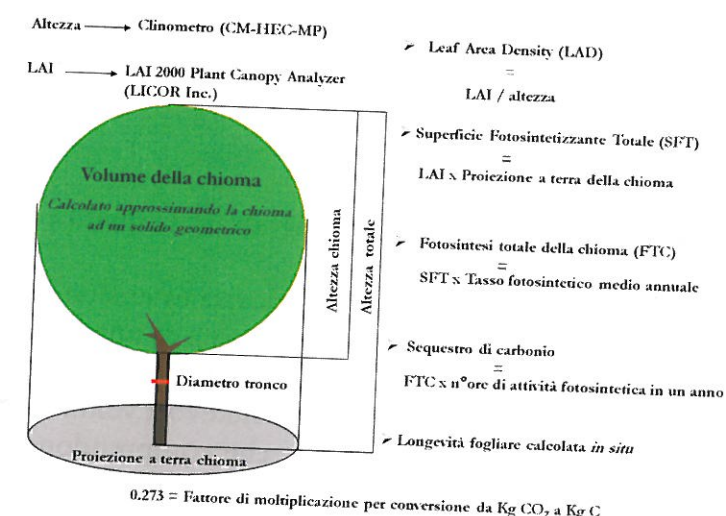



Figura 8.9. Calcolo della capacità di sequestro di CO_2 partendo dai dati strutturali e fisiologici (Gratani e Varone 2006).

della Nocetta, Via Vitellia e Via di San Pancrazio, tutte caratterizzate da un intenso traffico autoveicolare.La Villa è rimasta di proprietà della famiglia Doria Pamphilj fino ai primi decenni del Novecento.In occasione delle Olimpiadi del 1960 il Parco è stato diviso in due settori, con la realizzazione di Via Leone XIII (anche nota come Via Olimpica).La Villa è oggi di proprietà del Comune di Roma, che dal 1939 ha dato inizio ad una serie di espropri, culminati nell'apertura al pubblico del parco. In particolare nel 1965 è stata resa accessibile la parte occidentale della Villa e nel 1971 il settore orientale.

La capacità di sequestro della vegetazione presente nella Villa raggiunge un valore totale di 28,983 t CO_2 anno^{-1} (7,913 t di carbonio), corrispondenti allo 0.3% delle emissioni di gas serra complessive legate ai consumi energetici misurate in t CO_2 equivalenti anno^{-1} per la città di Roma per il 2010. Il maggior contributo al sequestro totale è fornito dai boschi misti (72.2 %) che, sebbene occupino solo il 35 % dell'estensione totale, hanno tuttavia una elevata superficie fogliare totale fotosintetizzante (SFT = 2,514,000 m^2), che favorisce una fotosintesi netta di 13.9 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (valore medio monitorato per le specie dei boschi misti), corrispondente a 20,923 t CO_2 anno^{-1}. Si sottolinea inoltre l'importanza dei numerosi viali alberati presenti, caratterizzati per la maggior parte (68.1%) da specie sempreverdi, quali *Quercus ilex, Pinus pinea, Quercus suber e Cupressus sempervirens* e da specie caducifoglie (31.9%), quali *Populus canadensis, Platanus hybrida, Aesculus hippocastanum, Celtis australis* e *Prunus cerasifera,* con una capacità di sequestro del 6.4% del totale.

8.3. Roma e il ruolo delle piante nel migliorare la qualità dell'aria

La città di Roma è caratterizzata da una elevata estensione dell'area urbanizzata (36% dell'intera superficie comunale), da una elevata movimentazione dei mezzi pubblici e privati (3.728.294 unità al 31/12/2011, dati dell'Automobile Club d'Italia) e da un notevole volume del "verde", in cui le "aree verdi" non edificate, che comprendono le aree naturali protette (circa 41.000 ettari), le ville storiche, i parchi, i giardini pubblici e le alberature stradali (per un totale di 3.927 ettari), le aree goleniche (Tevere, Aniene e fossi affluenti) e le aree agricole (37.073 ettari), coprono una superficie di 82.000 ettari (Dati dell'Agenzia per il

controllo e la qualità dei servizi pubblici locali del Comune di Roma, 2004).

Per quanto riguarda l'inquinamento, dal 1994 ad oggi è stato registrato un aumento del 29% della concentrazione di anidride carbonica (CO_2), con picchi di 500–600 ppm nei siti maggiormente interessati dal traffico auto–veicolare (Gratani e Varone, 2005; Gratani *et al.*, 2009). Inoltre, nel centro della città la concentrazione di CO_2 è in media maggiore del 20% rispetto a quella nelle aree extraurbane. Nel corso dell'anno i picchi massimi di CO_2 si osservano in inverno, in relazione alla maggiore densità del traffico e si riducono del 17% in estate. Durante la giornata la concentrazione massima nelle strade che attraversano il centro della città, si osserva nelle prime ore del mattino (dalle 8:00 alle 9:30), quando anche il traffico mostra la massima intensità, mentre nei parchi urbani si osserva un massimo nelle ore notturne fino alle prime ore del mattino (7:00), seguito da un decremento significativo nelle ore centrali della giornata, in relazione all'utilizzo della CO_2 atmosferica da parte delle piante per l'attività foto sintetica (Gratani e Varone, 2005, 2007).

Bibliografia

AKBARI H. *Shade trees reduce building energy use and CO2 emission from power plants.* Environ. Pollut., 2002, 116, 119–126.

ASCARELLI G. *Città e Verde. Antagonismi Metropolitani.* Testo & Immagine, Torino,1997.

BABISCH W., BEULE B., SCHUST M., KERSTEN N., ISING H. *Traffic noise and risk of myocardial infarction.* Epidemiology, 2005, 16: 33–40.

BIRDSEY R.A. *Carbon storage and accumulation in United States forest ecosystems.* Gen. Tech. Rep. WO–59. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office, 1992.

BLUHM G.L., BERGLIND N., NORDLING E., ROSENLUND M. *Road traffic noise and hypertension.* Occup. Environ. Med., 2007, 64: 122–126.

BOWLER D.E., BUYUNG–ALI L., KNIGHT T.M., PULLIN A.S. *Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence.* Landscape Urban Plan., 2010, 97: 147–155.

BUNCE J.A. *Elevated Carbon Dioxide Alters the Relative Fitness of Taraxacum officinale Genotypes.* Am. J. Plant Sci., 2012, 3, 202–208.

CASTELLANI C. *Tavole stereometriche ed alsometriche costruite per i boschi italiani.* Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura, Trento, 1982.

DONOVAN R.G., STEWART H., OWENS S.M., MACKENZIE A.R., HEWITT C.N. *Development and application of an urban tree air quality score for photochemical pollution episodes using the Birmingham, United Kingdom, area as a case study.* Environ. Sci. Technol., 2005, 39: 6730–6738.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2011. http://www.eea.europa.eu.

EVRENDILEK F., BERBEROGLU B., TASKINSU–MEYDAN S., YILMAZ E. *Quantifying carbon budget of conifer Mediterranean forest ecosystems, Turkey.* Environ. Monit. Assess., 2006, 119:527–543.

FAN Y., ZHIYI B., ZHUJN A., JIANI L. *The investigation of noise attenuation by plants and the corresponding noise–reducing spectrum.* J. Environ. Health, 2010, 72: 8–15.

GEORGI N.J., ZAFIRIADIS K. *The impact of park trees on microclimate in urban areas.* Urban Ecosyst., 2006, 9: 195–209.

GRATANI L., VARONE L. *Daily and seasonal variation of CO2 in the city of Rome in relationship with the traffic volume.* Atmos. Environ., 2005, 39: 2619–2624.

GRATANI L., VARONE L. *Carbon sequestration by Quercus ilex L. and Quercus pubescens Willd. and their contribution to decreasing air temperature in Rome.* Urban Ecosyst., 2006, 9: 27–37.

GRATANI L., VARONE L. *Plant crown traits and carbon sequestration capability by Platanus hybrida Brot. in Rome.* Landscape Urban Plan., 2007, 81: 282–286.

GRATANI L., BONITO A. *Villa Borghese, Viali, Giardini e Alberi Monumentali.* Fratelli Palombi Editori, Roma,2013.

GRATANI, L., CRESCENTE M.F., PETRUZZI M. *Relationship between leaf-span and photosynthetic activity of Quercus ilex L. in polluted urban areas (Rome).* Environ. Pollut., 2000, 110, 19–28.

GRATANI L., CRESCENTE M.F., VARONE L. *Long–term monitoring of metal pollution by urban trees.* Atmos. Environ., 2008, 42, 8273 – 8277.

GRATANI L., VARONE L., CRESCENTE M.F. *Urban trees and air amelioration capability.* In Demidov S., Bonnet J. (eds.), Traffic Related Air Pollution and Internal Combustion Engines, Nova Science Publisher., 2009, pp.161–178.

GUALDI V. *Un problema di assestamento: i turni delle fustaie di faggio del Gargano*, «Annali Acc. It. Scienze Forestali», 1974, XXIII, pp. 341–364.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE), www.ipcc.ch, 2007.

IPCC. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual, Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D.J. Griggs and B.A. Callender (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1997.

KHILMAN T. *Noise pollution in cities, Curitiba and Göteborg as examples.* Proceedings of the Seminar "Environmental Aspects of Urbanization", Gothenburg, Sweden, 2004.

KORDOWSKI K., KUTTLER W. *Carbon dioxide fluxes over an urban park area.* Atmospheric Environment, 2010, 44: 2722–2730.

MALEKI K., HOSSEINI S.M., NASIRI P. *The effect of pure and mixed plantations of Robinia pseudoacacia and Pinus eldarica on traffic noise decrease.* Int. J. Environ. Sci., 2010, 1: 213–224.

MITCHELL J.B., JOHNS T.G., GREGORY J.M., TETT F.B. *Climate response of increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols.* In: Archer D., Pierrehumbert R. (eds.), The warming papers: the scientific foundation for the climate change forecast, 2011, pp. 192–197.

Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C. *Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States.* Urban For. Urban Gree., 2006, 2: 19–29.

Öhrström E. *Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise–annoyance, activity disturbances, and psycho–social well–being.* J. Acoust. Soc. Am., 2004, 115: 719–729.

OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) www.who.int, 2010.

ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite) www.un.org, 2011.

Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, F. Wagner. *Good practice guidance for land use, land–use change, and forestry.* Institute for Global Environmental Strategies, Intergovernmental Panel on Climate Change,National Greenhouse Gas Inventories Programme, Kanagawa, Japan, 2003.

Stevanovic A, Stevanovic J, Zhang K, Batterman S *Optimizing traffic control to reduce fuel consumption and vehicular emissions.* Transport Res. Rec., 2009, 2128:105–113.

Susmel I., Viola F., Bassato G. *Ecologia della lecceta del Supramonte di Orgosolo (Sardegna Centro–orientale).* Annali del Centro di Economia Montana delle Venezie, 1976.

Vitullo, M., De Lauretis, R., Federici, S. *La contabilità del carbonio contenuto nelle foreste italiane.* Silvae Anno III, 2007, 91–104.

Capitolo IX

L'ecosistema duna

Una delle caratteristiche dell'ecosistema duna è la diversità ecologica in termini di geomorfologia, eterogeneità ambientale e presenza di specie.

La sabbia è un aggregato incoerente di particelle di dimensioni variabili, comprese tra 2 e 0.063 mm ed è caratterizzata da un modesto contenuto di sostanza organica, in media dello 0.19 % e in nutrienti (K, Na, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu < 1 %) (Gratani *et al.* 1982) e da una scarsa capacità di ritenzione idrica (Gratani *et al.* 1982; 2009; 2013).

Il vento è l'elemento dominante nel determinare la forma delle dune, infatti i cordoni sabbiosi si sviluppano parallelamente alla linea di riva, in direzione quasi perpendicolare a quella dei venti che spirano con maggiore frequenza ed intensità. Il vento sospinge i granelli di sabbia sul fianco ad esso esposto e li riversa oltre la sommità, da dove cadono per gravità. Per tale motivo si parla di dune mobili, che avanzano secondo la direzione del vento (Accordi e Lupia Palmieri 1987; Provoost *et al.* 2011). La vegetazione gioca un ruolo fondamentale nella stabilizzazione delle dune (Liu *et al.* 2005) e i fattori che maggiormente incidono sulla presenza delle specie sono l'elevata salinità del substrato, la scarsa disponibilità idrica e le elevate temperature, associate a alti livelli di radiazione (Avis e Lubke 1996; Gratani e Capannesi 1984; Gratani e Crescente 1995; Gratani *et al.* 2007; 2009; Grunewald e Schubert 2007; Yura e Ogura 2006). In particolare subito dopo la zona afitoica, dove il moto ondoso e la forte salinità non consentono la colonizzazione delle specie, si possono distinguere verso l'entroterra le specie colonizzatrici che costituiscono comunità caratterizzate da una ridotta ampiezza ecologica. Le dune embrionali, continuamente modellate dal vento, sono seguite dalle dune mobili, dalle dune semifisse e da quelle fisse.

Tuttavia l'ambiente delle dune costiere è vulnerabile non solo per le caratteristiche intrinseche ma anche per gli elevati livelli di pressione antropica (Gratani *et al.* 2009; 2013; Rodriguez–Echeverria e Freitas 2006) che, dalla metà del ventesimo secolo ad oggi, hanno determinato un depauperamento delle specie presenti (Acosta *et al.* 2000; Brown e McLachlan 2002; De Luca *et al.* 2011; Gratani *et al.* 2013). È importante sottolineare che i danni meccanici, come ad esempio quelli derivanti dall'uso ripetuto dei trattori, contribuiscono significativamente alla scomparsa della vegetazione, in particolare di quella delle prime fasce dunali (Grunewald e Schubert 2007).

Le dune costiere, ampiamente presenti in Europa, solo in pochi casi non risultano antropizzate. Attualmente, nell'allegato I della *Direttiva Habitat* 92/43/CEE risultano inseriti 17 diversi habitat che descrivono l'eterogeneità ambientale delle dune sabbiose in Europa (Carranza *et al.* 2008), quale tipo di habitat naturale di interesse comunitario, la cui conservazione richiede la designazione di aree speciali di conservazione. Lo scopo di tale Direttiva è stato quello di creare il network "Natura 2000" per proteggere il patrimonio naturalistico presente in Europa (http://www.minambiente.it/pagina/rete–natura–2000). In particolare le "Dune costiere con *Juniperus* spp." rientrano negli habitat prioritari (habitat 2250) della stessa Direttiva.La Direttiva Habitat intende garantire la protezione della natura tenendo anche conto delle esigenze economiche, sociali e culturali nonché delle particolarità regionali e locali (http://www.minambiente.it/pagina/rete–natura–2000).

Figura 9.1. La duna e la sua colonizzazione da parte della vegetazione lungo il litorale laziale.

Le liste nazionali dei Siti di Interesse Comunitario ad oggi contengono approssimativamente 10.000 siti, che coprono circa il 12% del totale delle terre dell'Unione Europea (Carranza *et al.* 2008). I sistemi dunali costieri rappresentano aree relativamente piccole nell'ambito di tali siti, tuttavia, poiché ospitano una elevata biodiversità, rientrano anche nella categoria III (si tratta generalmente di piccoli siti che focalizzano su una o più caratteristiche naturali) delle aree protette della WCPA (World Commission on Protected Areas) della IUCN.

Le coste italiane hanno una lunghezza di 8300 km e per il 42% del totale sono interessate da fenomeni di erosione legati all'antropizzazione (ISPRA 2009).Inoltre le previsioni sul cambiamento climatico includono l'aspettativa che nel Bacino del Mediterraneo l'aumento dell'intensità e della lunghezza dello stress da aridità possa essere un fattore discriminante la presenza delle specie vegetali, in particolare di quelle più sensibili, che sono caratterizzate da una bassa soglia di tolleranza. Si sottolinea che le attività di giardinaggio nelle vicinan-

Figura 9.2. L'uso ripetuto dei trattori per la pulizia delle spiagge altera la presenza delle specie psammofile, soprattutto di quelle delle prime fasce dunali.

ze delle zone costiere favoriscono l'introduzione di specie alloctone (Grime 2002), considerando che la competitività, in particolare delle specie aliene invasive (IAS) è legata al loro livello di tolleranza alla salinità e all'elevato tasso di accrescimento delle stesse, che consente l'occupazione in breve tempo in particolare di aree perturbate (Brooks *et al.*, 2004; Catoni e Gratani, 2013; Crescente e Gratani, 2013; Dukes e Mooney, 2004; Gratani *et al.*, 2013; Rejmánek, 1999; Shumway e Bertness, 1992). Diventa quindi fondamentale approfondire la conoscenza sulla soglia di tolleranza delle specie ai fattori di stress (cambiamento climatico globale, interferenze antropiche, fattori naturali) finalizzata al mantenimento dei pochi lembi a basso impatto antropico lungo le coste italiane (Carboni *et al.* 2009; Gratani *et al.* 2009).

9.1. Le specie della duna

Le specie della duna vengono definite alofite poiché si sviluppano su un substrato ricco di sali. Fra le caratteristiche fisiologiche, il potenziale osmotico del succo cellulare delle foglie varia da –4 a –20 bar e,

Figura 9.3. Le "Dune costiere con *Juniperus* spp." rientrano negli habitat prioritari (Habitat 2250) della Direttiva Habitat.

in casi particolari, da –50 a –80 bar, per consentire l'assorbimento dell'acqua da un substrato ricco di sali. Alcune alofite sono caratterizzate da succulenza (alto rapporto volume/superficie) e molte succulente aprono gli stomi di notte e fissano l'anidride carbonica in acidi organici come l'acido malico (Metabolismo Acido delle Crassulacee, CAM), mentre altre sono specie C_4, caratterizzate da una anatomia fogliare (Kranz), determinata da una corona di cellule fotosintetiche, generalmente con pareti ispessite, che costituiscono la guaina del fascio. In tal modo le cellule del mesofillo fissano il carbonio in acido malico ed aspartico (C_4), che vengono in seguito trasferiti nelle cellule della guaina dove avviene la decarbossilazione con rilascio di CO_2 che viene fissata dal ribulosio difosfato in acido tre fosfoglicerico, portando alla formazione di saccarosio attraverso il ciclo di Calvin, ma limitando la perdita di CO_2 attraverso gli stomi, come avviene invece nelle specie C_3 (Salisbury e Ross 1992).

Fra le specie psammofile, *Elymus farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis e *Ammophila arenaria* (L.) Link. subsp. *australis* (Mabille) Lainz si moltiplicano anche per via vegetativa, sviluppando estesi apparati radicali, sia orizzontalmente che verticalmente, prolungando i loro rizomi in palchi successivi, imbrigliando la sabbia e svolgendo un ruolo determinante nel processo di consolidamento della duna (Gratani 1987; Gratani e Bonito, 2014; Gratani *et al.*, 1983). Altre specie, come ad esempio *Cakile maritima* Scop., mostrano un elevato contenuto di acqua nei tessuti, che consente tassi fotosintetici sufficientemente alti associati ad un controllo stomatico elevato (Gratani *et al.*, dati non pubblicati). *Calystegia soldanella* (L.) Roem. et Schult, una specie C_4 che generalmente colonizza le dune embrionali, è caratterizzata da un rizoma perenne, foglie carnose e parenchima specializzato per la riserva di acqua vicino alla nervatura centrale (Ciccarelli *et al.* 2009). *Euphorbia paralias* L. è una specie C_4, con foglie carnose ed embricate (Ciccarelli *et al.* 2009). *Otanthus maritimus* (L.) Hoffmanns. & Link è una specie C_4 perenne, ricoperta di peli, con il parenchima vicino alle nervature centrali specializzato per l'accumulo dell'acqua e tricomi non ghiandolari su entrambe le superfici dell'epidermide, che svolgono un ruolo protettivo contro le elevate temperature e gli erbivori, mentre i tricomi ghiandolari producono composti con funzione antimicrobica (El-Shazyl *et al.* 2002; Setzer *et al.* 2004) e un effetto repellente contro gli insetti (Christodoupoulou *et al.* 2005; Tsoukatou *et al.* 2000).

9.2. Fenologia e fisiologia delle specie della duna

Per la maggior parte delle specie l'inizio dell'attività vegetativa si verifica alla fine di febbraio, in relazione all'aumento della temperatura, il massimo sviluppo vegetativo è favorito nei mesi di aprile–maggio da temperature ottimali e da una buona disponibilità idrica. Tali fattori associati ad un allungamento del fotoperiodo determinano il fenomeno

Figura 9.4. Dall'alto, in senso orario *Eryngium maritimum*, *Pancratium maritimum* e *Ammophila arenaria*.

dell'antesi, che si verifica mediamente tra aprile ed agosto. All'inizio dell'estate, l'aumento della temperatura, associato ad una ridotta disponibilità idrica determinano l'inizio della fase di senescenza. Alla fine dell'estate a seguito delle piogge di fine agosto, l'aumento della disponibilità idrica e l'abbassamento della temperatura consentono alla maggior parte delle specie una seconda ripresa vegetativa, che è comunque più breve rispetto a quella primaverile, a causa del sopraggiungere delle basse temperature. Alcune specie, come *Ammophila arenaria* subsp. *australis*, *Anthemis maritima*, *Eryngium maritimum* e *Cyperus capitatus*, conservano per tutta la stagione invernale la porzione secca, che svolge un ruolo di protezione per la formazione delle nuove gemme alla fine dell'inverno–inizio della primavera. Le specie psammofile sono caratterizzate da un tasso relativo di sviluppo (RGR) in media di 0.045±0.009 cm cm^{-1} $giorno^{-1}$ (Gratani *et al.* 1986; Gratani *et al.* 1982; 2007; 2013; Gratani e Bonito 2014).

Dal punto di vista fisiologico le specie psammofile mostrano un picco di fotosintesi netta e del contenuto in clorofilla totale fra la fine di aprile e la metà di maggio e un decremento nei mesi di giugno e luglio (Gratani 1986; Gratani e Marinucci 1985; Gratani *et al.* 1986; 2007), quando l'aumento del rapporto carotenoidi/clorofilla riduce il rischio di danni foto–ossidativi all'apparato fotosintetico; la fase di senescenza

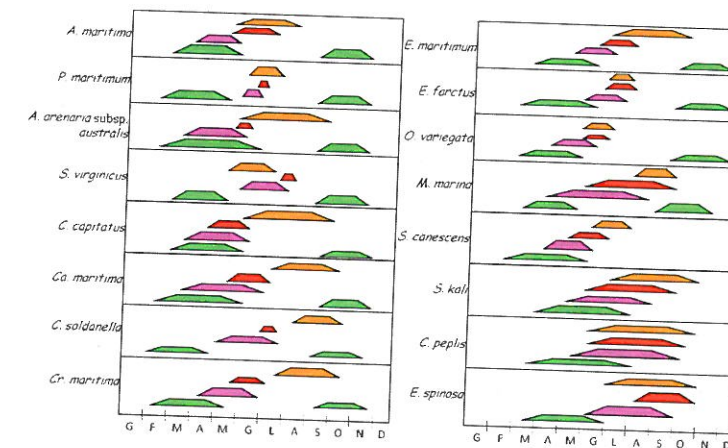



Figura 9.5. Diagramma fenologico delle specie della duna, che sottolinea l'inizio e la fine di ogni fase fenologica (verde = attività vegetativa; viola = fioritura; giallo = caduta delle foglie; rosso = fruttificazione).

è attestata da una significativa diminuzione del tasso fotosintetico, del contenuto in clorofilla, del contenuto in acqua e da un incremento del rapporto carotenoidi / clorofilla (Gratani 1985; Gratani *et al.* 2009).

Bibliografia

Accordi B., Lupia Palmieri E. *Il Globo Terrestre e la sua Evoluzione.* Zanichelli, Bologna, 1987.

Acosta A., Blasi C., Stanisci A. *Spatial connectivity and boundary patterns in costal dune vegetation in the Circeo National Park, Central Italy.* Journal of Vegetation Science 11, 2000, 149–154.

Avis A.M., Lubke R.A. *Dynamics and succession of coastal dune vegetation in the Eastern Cape, South Africa.* Landsc. Urb. Plan. 1996. 34: 237–254.

Brooks T.M., Bakarr M.I., Boucher T., Da Fonseca G.A.B., Hilton-Taylor C., Hoekstra J.M., Moritz T., Olivieri S., Parrish J., Pressey R.L., Rodrigues A.S.L., Sechrest W., Stattersfield A., Strahm W., Stuart S.N. *Coverage provided by the protected–area system: Is it enough?* BioScience 2004, 54: 1081–1091.

Brown A. C., McLachlan A. *Sandy shore ecosystems and the threats facing them: Some predictions for the year 2025.* Environ. Conserv., 2002, 29, 62–77.

Carboni M., Carranza M.L., Acosta A. *Assessing conservation status on coastal dunes: a multiscale approach.* Landsc. Urban Plan. 2009, 91: 17–25.

Carranza M. L., Acosta A. T. R., Stanisci A., Pirone G., & Ciaschetti G. *Ecosystem classification and EU habitat distribution assessmentin sandy coastal environments.* Environ. Monit. Assess., 2008, 140: 99–107.

Catoni R., Gratani L. *Morphological and physiological adaptive traits of Mediterranean narrow endemic plants: the case of Centaurea gymnocarpa (Capraia Island, Italy).* Flora, 2013, 208: 174–183.

Ciccarelli D., Forino L. M. C., Balestri M., Pagni A.M. *Leaf anatomical adaptations of Calystegia soldanella, Euphorbia paralias and Otanthus maritimus to the ecological conditions of coastal sand dune systems.* Caryologia, 2009, 62: 142–151.

Crescente M.F., Gratani L. *Differences in morphological, physiological and growth traits between two endemic subspecies of Brassica rupestris Raf.: implication for their conservation.* Am. J. Plant Sci., 2013, 4: 42–50.

Christodoulopoulou L., Tsoukatou M., Tziveleka L.A., Vagias C., Petrakis P.V. and Roussis V. *Piperidinyl amides with insecticidal activity from the maritime plant Otanthus maritimus.* J. Agr. Food Chem., 2005, 53: 1435–1439.

De Luca, E., Novelli, C., Barbato, F., Menegoni, P., Iannetta, M., Nascetti, G. *Coastal dune systems and disturbance factors: monitoring and analysis in central Italy.* Environ. Monit. Assess., 2011, 183:437–450.

Dukes J.S., Mooney H.A. *Disruption of ecosystem processes in western North America by invasive species.* Rev. Chil. Hist. Nat., 2004, 77:411–437.

El–Shazyl A., Dorai G. and Wink M. *Composition and antimicrobial activity of essential oil and hexane–ether extract of Tanacetum santolinoides (DC.).* Feinbr. Fertig. J. Biosci., 2002, 57: 620–623.

Gratani L. *Variability in chlorophyll content along a gradient in a mediterranean ecosystem.* Ecol. Mediterr., 1985, 11: 55–63.

Gratani L. *A critical approach to the problem of the vigour of Ammophila littoralis (Beauv.) Rothm.* Ecol. Mediterr., 1987, 13: 53–60.

Gratani L., Capannesi G. *Cambiamenti in vigore di Ammophila littoralis in relazione alla sua posizione sulle dune.* Collana dei Rapporti Tecnici dell'ENEA, ENEA–RT / PAS / 84 / 1984,18: 3–12.

Gratani L., Marinucci C. *Castelporziano.* Edizioni Coopsit, 1985.

Gratani L., Crescente M.F. *Fenologia e stagionalità delle specie psammofile.* Colloq. Phytosoc., 1995, 24: 27–32.

Gratani L., Bonito A. *L'ambiente costiero: la duna presente nella Tenuta di Castelporziano.* Accademia Nazionale delle Scienze detta dei Quaranta, Roma, 2014.

Gratani L., Amadori M., Marinucci C., Moriconi M. *Study of the relations between biomass and specific cover in psammophile vegetation (Circeo National Park – Italy).* Ann. Bot., Roma, 1982, 40: 97–106.

Gratani L., Marinucci C., Amadori M., Bruno F. *Relationship between phytosociological table and biomass estimation of psammophilous vegetation at Castelporziano (Rome, Italy).* 1983. Acta Oecol. / Oecol. Gener., 4 (4): 307–314.

Gratani L., Fiorentino E., Fida C. *Phenological behaviour as a function of temperature for several species of psammophilous vegetation.* Anales Jard. Bot. Madrid, 1986, 43: 125–135.

Gratani L., Crescente M.F., Varone L. *Ecologia della duna: ritmo fenologico delle specie psammofile.* Fitosociologia, 2007, 44: 11–16.

GRATANI L., VARONE L., CRESCENTE M.F. *Photosynthetic activity and water use efficiency of dune species: the influence of temperature on functioning.* Photosynthetica, 2009, 47: 575–585.

GRATANI L., CRESCENTE M.F., VARONE L., GINI E., RICOTTA C., BONITO A. *Sand dune species distribution and size variations in two areas inside a natural protected area subjected to different human disturbance.* Am. J. Plant Sci., 2013, 4: 1899–1910.

GRIME, J.P. *Declining plant diversity: empty niches or functional shifts?* J. Veg. Sci., 2002, 13:457–460.

GRUNEWALD R. AND SCHUBERT H. *The definition of a new plant diversity index "H dune" for assessing human damage on coastal dunes – Derived from the Shannon index of entropy H.* Ecol. Indic., 2007, 7, 1–21.

ISPRA. *Il ripristino degli ecosistemi marino–costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree protette.* Rapporti 100/09. 2009.

LIU L.Y., SKIDMORE E., HASI E., WAGNER L., AND TATARKO J. *Dune sand transport as influenced by wind directions, speed and frequencies in the Ordos Plateau.* China: Geomorphology, 2005, 67: 283–297.

PROVOOST S., JONES M., LAURENCE M., EDMONDSON S.E. *Changes in landscape and vegetation of coastal dunes in northwest Europe: a review.* J. Coastal Conserv., 2011, 15: 207–226.

REJMÁNEK, M. *Invasive plant species and invasible ecosystems.* Invasive Species and Biodiversity Management., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1999, pp. 79–102.

RODRIGUEZ–ECHEVERRIA S., FREITAS H. *Diversity of AMF associated to Ammophila arenaria ssp. arundinacea in Portuguese sand dunes.* Mycorrhiza. 2006, 16:543–552.

SALISBURY F.B., ROSS C.W. *Fisiologia vegetale.* Zanichelli, Bologna, 1992.

SETZER W.N., VOGLER B., SCHMIDT J.M., LEAHY J.G. AND RIVES R. *Antimicrobial activity of Artemisia douglasiana leaf essential oil.* Fitoterapia, 2004, 75: 192–200.

SHUMWAY, S.W., BERTNESS M.D. *Salt stress limitation of seedling recruitment in a salt marsh plant community.* Oecologia 1992, 92:490–497.

TSOUKATOU M., VAGIAS C., HARVALA C., ROUSSIS V. *Essential oil and headspace analysis of the maritime Bombycilaena erecta and Otanthus maritimus species growing wild in Greece.* J. Essent. Oil Res., 2000, 12:360–364.

YURA, H. AND OGURA, A. *Sandblasting as a possible factor controlling the distribution of plants on a coastal dune system.* Plant Ecol., 2006, 185: 199–208.

Capitolo X

La plasticità fenotipica

La plasticità fenotipica è stata definita come la capacità di uno stesso genotipo di esprimere fenotipi diversi in differenti condizioni ambientali (Bradshaw, 1965). Poiché la plasticità influenza la tolleranza, una elevata plasticità contribuisce ad ampliare il range di ambienti che una specie può occupare. L'ambiente può indurre cambiamenti a livello morfologico, fenologico e fisiologico e, in particolare la plasticità dei tratti fisiologici svolge un ruolo primario nella colonizzazione in condizioni ambientali con elevata radiazione, poiché consente aggiustamenti alla variazione dei fattori ambientali nel breve tempo. La selezione per i tratti fotosintetici può operare indirettamente attraverso la correlazione con altri tratti, enfatizzando l'importanza del fenotipo come funzione integrata del processo di crescita. La plasticità fisiologica è legata maggiormente alla capacità di colonizzare gaps e aree aperte, dove la plasticità dei tratti morfologici ed anatomici svolge un ruolo secondario. Al contrario le piante che si sviluppano in condizioni di stress tendono a mantenere tratti morfologici conservativi, in modo da evitare la produzione di strutture troppo dispendiose. La plasticità morfologica può essere interpretata come una strategia per massimizzare la cattura della luce in ambienti caratterizzati da una ridotta radiazione.

Il modo in cui un genotipo varia la sua espressione in risposta alla variazione delle condizioni ambientali può essere descritto da una norma di reazione, che è geneticamente determinata.

La norma di reazione per ogni tratto specifico di un determinato genotipo può essere visualizzata come una linea o una curva in un plot bidimensionale del valore ambientale verso il valore del fenotipo. La plasticità può essere visualizzata come un cambiamento nella pendenza della linea fra la popolazione ancestrale e quella derivata o la specie.

La plasticità fenotipica può determinare alcuni cambiamenti di un genotipo in risposta a nuove condizioni, ad esempio attraverso la migrazione in nuove aree geografiche o attraverso il miglioramento della performance della popolazione, dovuta all'assimilazione genetica del tratto nel nuovo ambiente. In generale le piante invasive (IAS) sono caratterizzate da una elevata plasticità fenotipica che consente la rapida colonizzazione di ambienti diversi in tempi rapidi, competendo favorevolmente con le specie autoctone.

10.1. La risposta delle piante alla luce

Una delle espressioni della plasticità fenotipica è la modificazione dei tratti fogliari al gradiente luminoso e alla riduzione del rapporto Red/Far Red, dalla cima alla base della chioma di un albero, o nei diversi strati di un bosco (arboreo, arbustivo, erbaceo). Tali variazioni avvengono durante la formazione delle foglie (Larcher, 2003). Uno dei tratti che cambia significativamente in risposta al gradiente luminoso è la superficie fogliare specifica (SLA, Specific Leaf Area). La plasticità dello SLA implica il controllo morfogenetico della foglia, che tende

Figura 10.1. Differenze morfologiche fogliari negli ecotipi di *Quercus ilex* provenienti da Nago (Trentino, a sinistra) e da Frassanito (Puglia, a destra).

ad incrementare maggiormente la superficie in condizioni di ombra rispetto a condizioni di sole, mentre c'è una limitazione genetica e fisiologica all'incremento del volume fogliare legato alla limitazione delle risorse (in questo caso la luce). Lo SLA riflette lo spessore fogliare e la relativa proporzione dei tessuti assimilatori, conduttivi e meccanici. In particolare l'aumentato spessore delle foglie in condizioni di sole rispetto a quelle che si sviluppano in condizioni di ombra è dovuto all'aumentato sviluppo del parenchima a palizzata, evidenziando come la struttura interna gioca un ruolo importante nella cattura della luce. Le foglie di sole in media hanno tassi fotosintetici più elevati rispetto alle foglie di ombra, associati a un più alto rapporto clorofilla a/clorofilla b (Chl a/Chl b), un ridotto numero di tilacoidi e un più basso contenuto della proteine del complesso light–harvesting complex, indicato dal più basso rapporto clorofilla totale azoto (Chl_{tot}/N). Inoltre i tassi più alti di fotosintesi netta in condizioni di sole sono associati a una più alta conduttanza e una maggiore densità stomatica per massimizzare l'assorbimento dell'anidride carbonica. In condizioni di ombra invece vengono minimizzate le perdite di carbonio attraverso la respirazione, per compensare i più bassi tassi fotosintetici.

La plasticità delle foglie nella chioma degli alberi ha un impatto in molti aspetti funzionali poiché contribuisce potenzialmente alla performance dell'intera chioma. La variazione dei tratti fogliari nelle chioma varia in specie diverse e in diversi tipi di foresta.

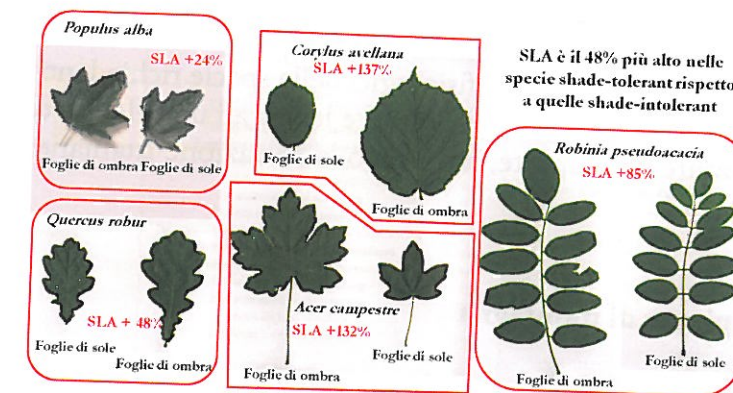



Figura 10.2. Variazione degli indici morfologici nelle foglie di sole e in quelle di ombre di specie caducifoglie presenti nel Bosco Siro Negri (Pavia).

Tabella 10.1. Plasticità fenotipica dei tratti morfologici e fisiologici per specie shade – tollerant, shade – intolerant e intermedie

	Specie	Plasticità Morfologica	Plasticità Fisiologica
Shade–tolerant	*Fagus sylvatica*	0.46	0.39
	Acerus pseudoplatanus	0.31	0.34
	Ilex aequifolium	0.54	0.24
	Quercus ilex	0.33	0.5
	Acer sacharum	0.3	0.3
Intermedie	*Acer rubrum*	0.41	0.26
	Betula alleghanensis	0.29	0.32
	Picea abies	0.13	0.22
	Quercus rubra	0.41	0.27
Shade–intolerant	*Quercus robur*	0.24	0.6
	Cistus incanus	0.18	0.38
	Abies procera	0.29	0.32

10.2. Shade tolerance

La tolleranza all'ombra (shade tolerance), definita come la minima quantità di luce in cui una pianta può sopravvivere e riprodursi, è uno dei fattori ecologici che determinano la competizione fra le specie arboree forestali, in particolare nelle aree a clima temperato. Sebbene ci siano numerosi studi sulla capacità di risposta di specie diverse alla variazione della luce, tuttavia le risposte sono spesso contraddittorie. In linea generale le specie che si sviluppano in condizioni di luce hanno una maggiore plasticità rispetto a specie che crescono all'ombra e lo SLA è il tratto più strettamente correlato con la shade tolerance.La maggiore plasticità dei tratti fisiologici delle specie richiedenti la luce rispetto a quelle tolleranti all'ombra è legata ad una elevata capacità di colonizzare aree aperte, attraverso la variazione istantanea degli scambi gassosi.

10.3. Le piante di montagna

Le previsioni evidenziano che l'impatto del cambiamento climatico sugli ecosistemi terrestri sarà maggiore nella tundra artica e nelle zone di alta montagna rispetto alle aree di bassa latitudine. In particolare il previsto aumento della temperatura negli ecosistemi montani po-

trebbe essere oltre tre volte maggiore rispetto alla media registrata nel ventesimo secolo. Lo scenario per il ventunesimo secolo ipotizza una riduzione degli habitat alpini e la perdita di molte specie di quota in Europa. Tuttavia ci sono ad oggi poche informazioni sulla potenziale capacità adattativa nelle aree di alta montagna. Una delle conseguenze del cambiamento climatico potrebbe essere lo spostamento delle specie a quote maggiori e il tasso e il trend di tali spostamenti dipenderà dalla preferenza dell'habitat da parte della specie e dalla capacità di competizione nelle nuove condizioni.La conoscenza della capacità adattativa è importante per fare ipotesi sulla dinamica delle specie anche in considerazione del cambiamento climatico.

	Tratti morfologici	PI	Tratti fisiologici	PI
Crepis pygmaea subsp. *pygmaea*	Superficie fogliare	0.20	Fotosintesi netta	0.63
	Peso secco	0.39	Conduttanza stomatica	0.65
	Massa fogliare specifica	0.38	Respirazione fogliare	0.53
	Densità cellulare tissutale	0.42	Efficienza dell'uso dell'acqua	0.36
			Poteziale idrico fogliare	0.73
			Contenuto di clorofilla	0.31
			Contenuto relativo di acqua	0.21
			Fotosintesi lorda	0.55
	Valore medio	**0.35**	**Valore medio**	**0.50**
Isatis apennina	Superficie fogliare	0.25	Fotosintesi netta	0.12
	Peso secco	0.32	Conduttanza stomatica	0.48
	Massa fogliare specifica	0.30	Respirazione fogliare	0.72
	Densità cellulare tissutale	0.33	Efficienza dell'uso dell'acqua	0.26
			Poteziale idrico fogliare	0.48
			Contenuto di clorofilla	0.17
			Contenuto relativo di acqua	0.15
			Fotosintesi lorda	0.37
	Valore medio	**0.30**	**Valore medio**	**0.38**
Sesleria nitida	Spessore totale della lamina fogliare	0.21	Fotosintesi netta	0.18
	Altezza del più grande vaso laterale	0.30	Conduttanza stomatica	0.39
	Larghezza del più grande vaso laterale	0.24	Tasso di traspirazione	0.33
	Altezza del vaso centrale	0.39	Respirazione fogliare	0.37
	Larghezza del vaso centrale	0.32	Rapporto tra la respirazione fogliare e fotosintesi netta	0.47
	Diametro dei vasi xilematici	0.18		
	Densità cellulare del mesofillo	0.19		
	Spessore della porzione adassiale dello sclerenchima	0.31		
	Area totale coperta dalle cellule bulliformi	0.07		
	Lunghezza degli stomi presenti sull' epidermide superiore	0.06		
	Spessore epidermide superiore	0.06		
	Spessore epidermide inferiore	0.07		
	Massa fogliare specifica	0.15		
	Larghezza massima della foglia	0.21		
	Valore medio	**0.20**	**Valore medio**	**0.35**

Figura 10.3. Valori di plasticità fenotipica per i tratti morfologici e fisologici di specie di montagna. È riportato il valore dell'indice medio di plasticità fenotipica, calcolato utilizzando tutti i parametri analizzati (Gratani 2014).

10.4. Indici di plasticità fenotipica

Numerosi Autori hanno identificato indici per misurare la plasticità fenotipica. A titolo di esempio si riporta l'indice di plasticità fenotipica (PI) proposto da Valladares *et al.* (2000), che è calcolato come la differenza tra il valore medio massimo e quello medio minimo di parametri fogliari, diviso per il valore medio massimo. L'indice varia da 0 (assenza di plasticità) a 1 (massima plasticità).

L'indice di plasticità medio di una specie è calcolato utilizzando tutti i valori dell'indice di plasticità fenotipica ottenuti per i tratti anatomici, morfologici e fisiologici fogliari considerati.

Indici di plasticità	Nago	Castelporziano	Frassanito
Parametri fisiologici			
P_N	0.73	0.73	0.67
g_s	0.73	0.79	0.77
E	0.84	0.84	0.82
WUE	0.88	0.87	0.82
Ψ_{pd}	0.89	0.93	0.93
Parametri morfologici			
LA	0.24	0.27	0.33
DM	0.19	0.40	0.32
SLA	0.15	0.27	0.15
LMA	0.15	0.27	0.15
LTD	0.21	0.32	0.15
PI Valore medio	**0.50**	**0.57**	**0.51**

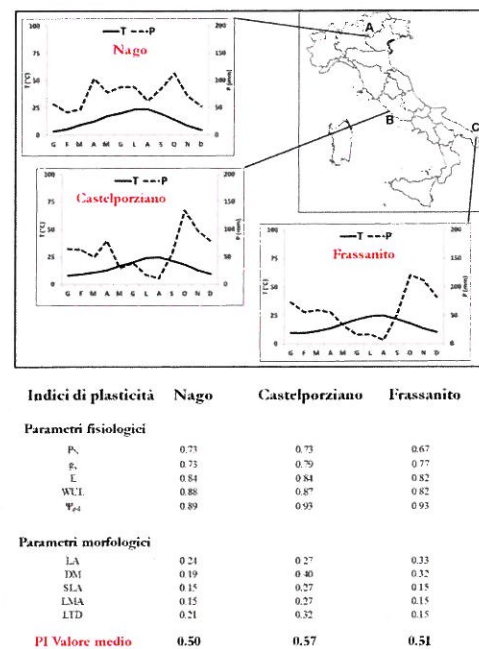



Figura 10.4. In basso sono mostrati gli indici di plasticità dei parametri fisiologici e morfologici fogliari degli ecotipi di *Quercus ilex* di Nago, Castelporziano e Frassanito e, in alto, sono rappresentati i diagrammi climatici delle tre località e loro relativa posizione (P_N= fotosintesi netta; gs = conduttanza stomatica; E = traspirazione fogliare; WUE = efficenza dell'uso dell'acqua per la fotosintesi; ψ_{pd} = potenziale idrico al pre-down; LA = superficie fogliare; DM = peso secco fogliare; SLA = superficie fogliare specifica; LMA = peso fogliare specifico; LTD = densità tissutale; *PI* = indice di plasticità medio).

Indice di Plasticità	*Q. ilex*	*P. latifolia*	*P. lentiscus*
Tratti morfologici			
DM	0.16	0.11	0.14
LA	0.50	0.38	0.32
LMA	0.41	0.28	0.24
SLA	0.41	0.29	0.24
Valore medio	**0.37**	**0.26**	**0.23**
Tratti anatomici			
Spessore totale lamina fogliare	0.41	0.30	0.20
Spessore parenchima a palizzata	0.47	0.37	0.28
Spessore parenchima lacunoso	0.41	0.25	0.12
Spessore cuticola superiore	0.19	0.31	0.28
Spessore cuticola inferiore	0.31	0.33	0.27
Spessore epidermide superiore	0.27	0.28	0.18
Spessore epidermide inferiore	0.14	0.05	0.01
Densità stomatica	0.28	0.20	0.08
Lunghezza cellule di guardia	0.08	0.12	0.00
Valore medio	**0.28**	**0.25**	**0.16**
Tratti biochimici			
N	0.15	0.12	0.12
Chl a+b	0.35	0.40	0.47
Chl/Car	0.32	0.32	0.42
Chl a/b	0.16	0.15	0.08
Chl/N	0.44	0.43	0.51
Valore medio	**0.28**	**0.28**	**0.32**
Tratti fisiologici			
P_N	0.96	0.97	0.95
g_s	0.67	0.56	0.59
WUE	0.86	0.92	0.85
PNUE	0.92	0.95	0.93
Ψ_m	0.14	0.12	0.10
Valore medio	**0.71**	**0.70**	**0.69**

Figura 10.5. A sinistra sono mostrati i dati relativi al rapporto clorofilla a/ clorofilla b (Chl a/b), del contenuto in azoto fogliare (N, mg g^{-1}) e dell'efficienza nell'uso di azoto per la fotosintesi (PNUE, µmol g^{-1} s^{-1}) delle foglie di sole e le foglie di ombra per le tre specie considerate. A destra è riportata la tabella con i valori dell'indice di plasticità fenotipica calcolato per i parametri morfologici, anatomici, biochimici e fisiologici in risposta a differenti condizioni di luce (sole e ombra) per tre specie arbustive sempreverdi (*Pistacia lentiscus*, *Phillyrea latifolia* e *Quercus ilex*) presenti nella macchia mediterranea.

Bibliografia

BRADSHAW A.D. *Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants*. Adv. Genet., 1965, 13: 115–155

GRATANI L., 2014. *Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors*. Adv. Bot. http://dx.doi.org/10.1155/2014/208747.

LARCHER W. *Physiological plant ecology*. Springer, Berlin, 2003.

VALLADARES F., WRIGHT S.J., LASSO E., KITAJIMA K., PEARCY R.W. *Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest*. Ecology, 2000, 81: 1925–1936.

Capitolo XI

L'analisi morfologica fogliare

La foglia è l'organo della pianta che presenta la maggiore variabilità morfologica ed è l'espressione più manifesta della risposta dei vegetali all'influenza dei fattori ambientali. Mentre il fusto ha un accrescimento potenzialmente illimitato la foglia ha un accrescimento limitato. La morfologia fogliare è caratterizzata dalla consistenza e dalla superficie fogliare.

Il grado di consistenza fogliare espresso dalla massa fogliare specifica (LMA), data dal rapporto fra il peso fogliare secco e la superficie fogliare fresca, aumenta in condizioni di elevata radiazione, di stress idrico, d'inquinamento e di scarsi nutrienti nel suolo. Ad un grado di consistenza elevato è spesso associata una elevata densità cellulare del mesofillo (LTD) data dal peso secco fogliare sul volume fogliare, quest'ultimo calcolato dal rapporto fra la superficie fogliare fresca e lo spessore del mesofillo. Un altro parametro utile per caratterizzare la foglia è la superficie fogliare specifica (SLA) data dal rapporto fra la superficie fogliare fresca e il peso secco fogliare. Durante il processo di evoluzione fogliare lo SLA aumenta dall'apertura della gemma al raggiungimento della massima superficie e, generalmente, è piu'elevato in condizioni di ombra.

Un altro parametro caratterizzante la foglia è l'angolo di inclinazione fogliare che è indicativo della capacità di intercettazione della luce. In particolare le foglie orientate verticalmente rispetto al piano dell'orizzonte hanno un vantaggio in condizioni di luce uniformemente distribuita, mentre quelle orientate orizzontalmente ricevono una elevata radiazione nelle ore centrali della giornata. Generalmente le foglie che si sviluppano all'ombra hanno un orientamento prevalentemente orizzontale, al contrario di quelle che si sviluppano in pieno sole. Inoltre le foglie di molte specie hanno l'abilità di cambiare il loro orientamento durante il corso della giornata per mezzo di un

pulvino motore nel picciolo e pigmenti fotorecettori in risposta alla luce. L'inclinazione e l'orientamento fogliare sono specie–specifici.

Specie con foglie larghe e sottili sono più avvantaggiate nella cattura della luce in condizioni ombreggiate, rispetto a specie con foglie più strette e spesse. Le foglie delle specie mediterranee sclerofille sempreverdi, generalmente di ridotta superficie e disposte più o meno orizzontalmente (angolo di circa 45° rispetto al piano dell'orizzonte) sono avvantaggiate nella cattura della luce soprattutto nelle ore centrali della mattina.

Molte specie, soprattutto nei climi aridi sono capaci di regolare l'intercettazione della luce cambiando il potere di riflessione delle foglie, per mezzo della presenza di peli o tricomi e, in alcuni casi, di cristalli di sale sulla superficie fogliare.

In cenosi a forte densità ed elevata area fogliare la maggior parte dell'energia incidente è assorbita dallo strato dominante mentre gli strati sottostanti sono caratterizzati da temperature più basse e generalmente una maggiore umidità. Ne risulta quindi che l'efficienza

Figura 11.1. Gli indici fogliari di SLA (Specific Leaf Area), LMA (Leaf Mass Area) e LTD (Leaf Tissue Density).

funzionale nell'ambito di una comunità vegetale è condizionata dalle caratteristiche dei diversi strati che la costituiscono.

Il peso secco fogliare è ottenuto essiccando le foglie in stufa a 90°C fino al raggiungimento del peso costante. Il peso saturo si ottiene

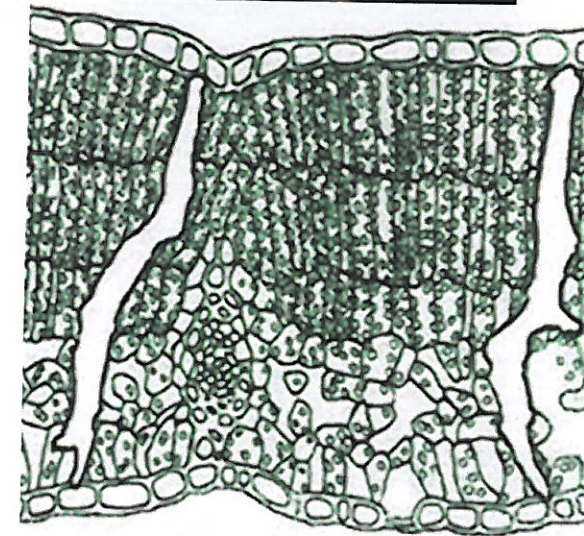



Figura 11.2. Foglie di *Phillyrea latifolia* e sezione anatomica della sua foglia. Si possono osservare gli idioblasti meccanici che hanno la funzione di diffondere la luce all'interno del mesofillo, caratterizzato da una elevata densità cellulare, per favorire l'efficienza fotosintetica.

mantenendo il picciolo delle foglie immerso in acqua, al buio e a 5°C fino a saturazione.La superficie fogliare si misura mediante un software di acquisizione di immagini.

Quercus ilex

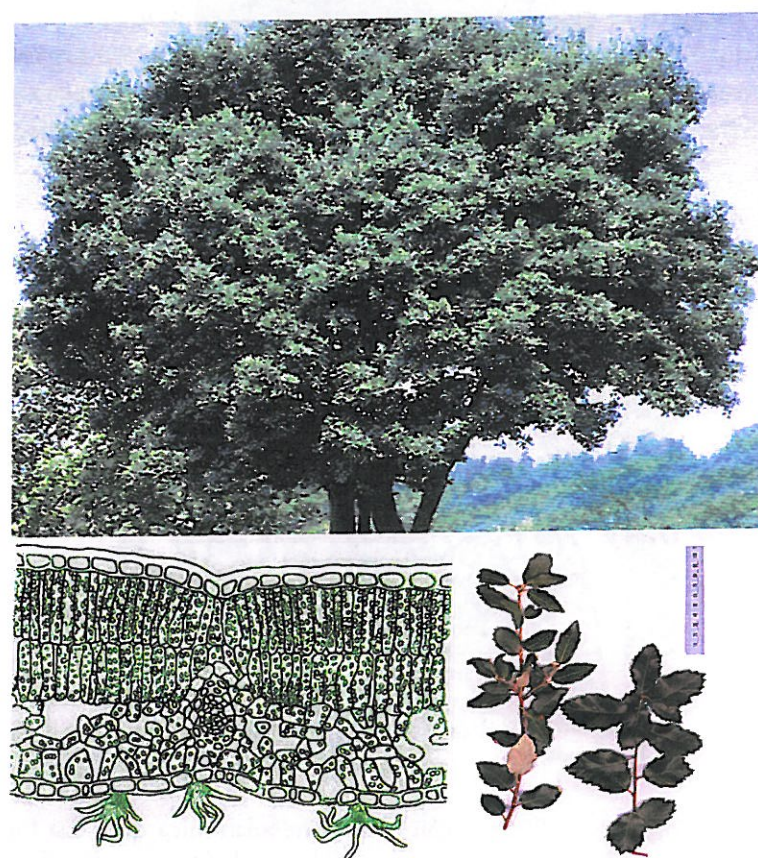



Figura 11.3. Particolari della foglia di *Quercus ilex*.

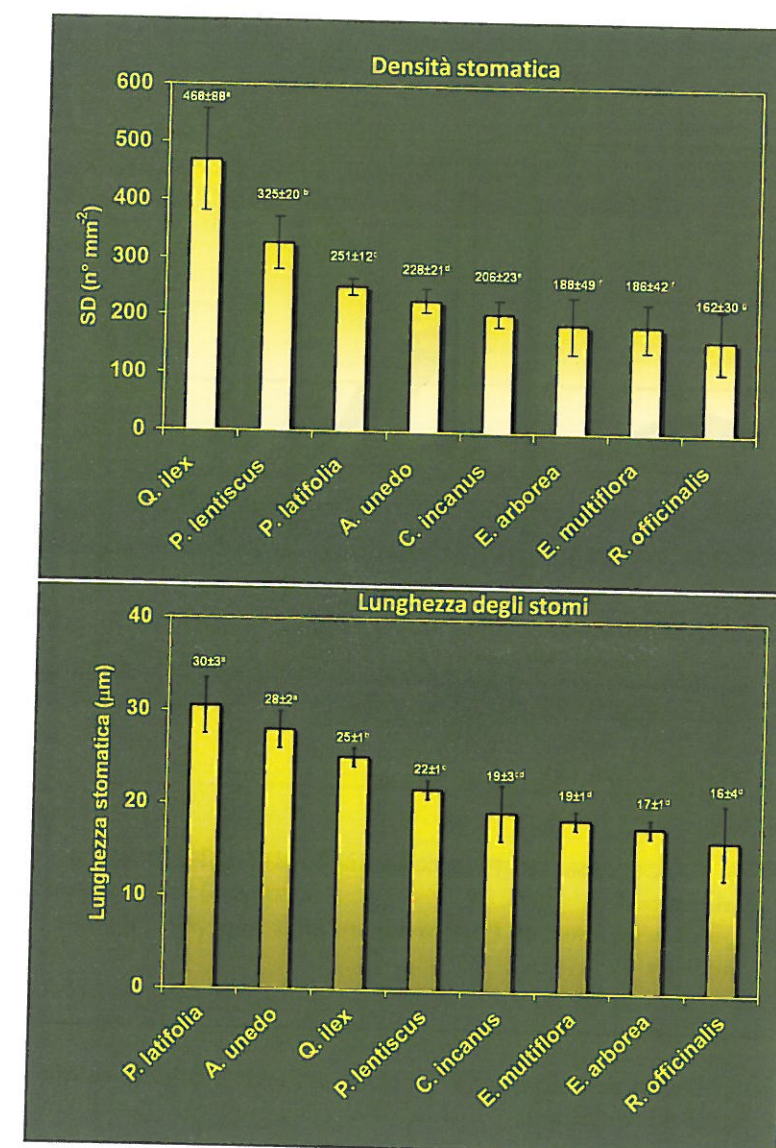



Figura 11.4. Densità stomatica (SD) e lunghezza stomatica per le specie della macchia mediterranea.

La riduzione in % di PAR incidente sulla superficie di una foglia inclinata (RI) è calcolata come :

$$RI = \frac{(I_o - I_s)}{I_o} \times 100$$

I_o = La frazione di PAR incidente sulla superficie fogliare orizzontale
I_s = La frazione di PAR incidente sulla superficie fogliare inclinata

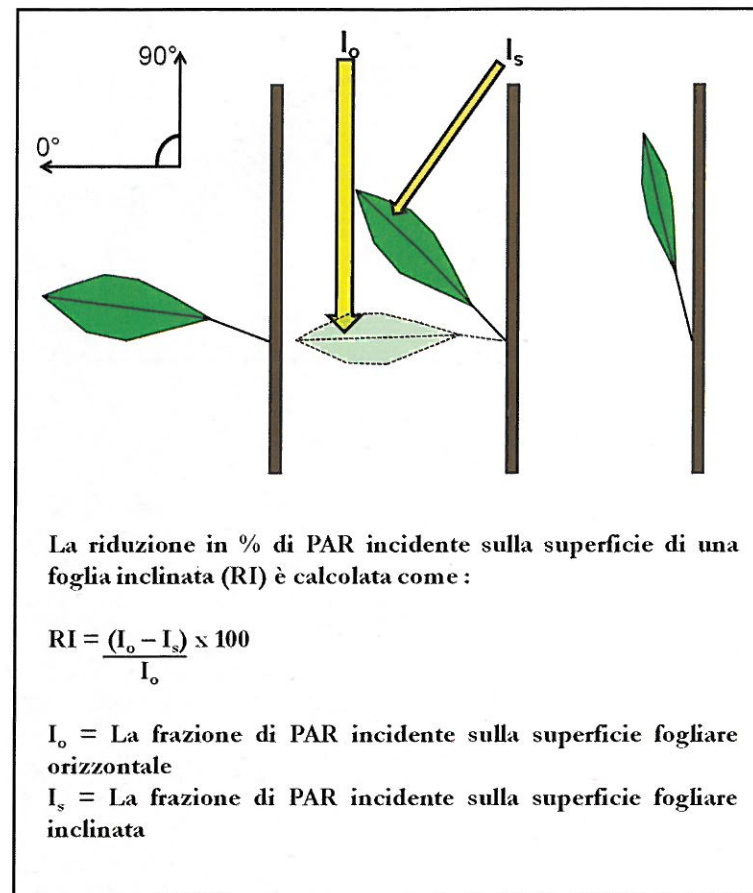



Figura 11.5. Determinazione della riduzione del PAR incidente su una foglia a diverso angolo d'inclinazione.

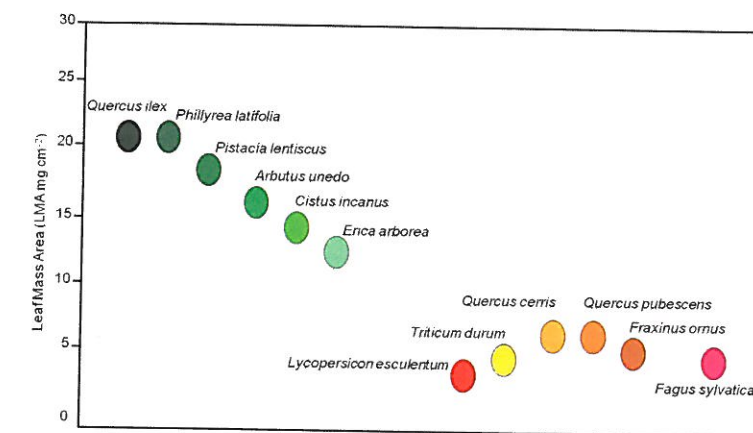



Figura 11.6. Valori di LMA (Leaf Mass Area) di specie sempreverdi (a sinistra) e caducifoglie e annuali (a destra).

Capitolo XII

Gli scambi gassosi

Gli scambi gassosi implicano scambi di anidride carbonica (CO_2) ed ossigeno (O_2) fra le piante e l'ambiente circostante. Mentre durante il processo fotosintetico viene utilizzata la CO_2 presente in atmosfera ed emesso l'O_2, durante la respirazione il processo è inverso (Larcher 2003). Attraverso la fotosintesi i vegetali convertono l'energia luminosa in energia chimica (ATP e NADPH), che viene poi utilizzata per la produzione di zuccheri mediante la fissazione della CO_2.

L'organicazione fotosintetica del carbonio è un processo fondamentale alla base della vita. Le foglie sono l'organo per eccellenza nell'intercettare la radiazione attraverso i pigmenti (clorofilla e carotenoidi presenti in tutti i vegetali e le ficocianine e le ficobiline presenti nei cianobatteri e in alcuni gruppi di alghe). Le condizioni favorevoli affinché avvenga il processo fotosintetico sono la radiazione, la disponibilità idrica e i nutrienti nel suolo.

La molecola di clorofilla è formata da un anello porfirinico idrofilo legato ad un alcool a catena lunga (il fitolo), idrofobo. L'assorbimento della luce avviene a livello dell'anello porfirinico, che ha un elevato numero di doppi legami coniugati ed un atomo di magnesio al centro.

Il processo fotosintetico può essere ricondotto a tre fasi principali:

a) fase fotochimica,
b) trasferimento di elettroni e formazione di ATP,
c) fase biochimica in cui la CO_2 viene trasformata in carboidrati.

L'assorbimento della radiazione provoca l'eccitazione dei pigmenti fotosintetici presenti nei cloroplasti. Gli elettroni donati dai pigmenti sono trasferiti lungo una catena costituita da una serie di molecole, che conduce alla riduzione dell'NADP in NADPH. La formazione di ATP è associata alla fase di trasferimento di elettroni. La fase biochimica può procedere al buio e richiede 3 moli di ATP e 2 di NADPH per ogni

mole di CO_2 fissata in carboidrati. I recettori della radiazione sono i pigmenti fotosintetici, che si differenziano per la struttura e per i picchi di assorbimento della radiazione nel visibile. In particolare negli organismi fotosintetici sono presenti: la clorofilla a, con picco massimo di assorbimento nel blu (435 nm) e nel rosso (675 nm); la clorofilla b, con un picco massimo nel blu (480 nm) e nel rosso (650 nm); la clorofilla c con un picco massimo a 645 nm e la clorofilla d, con un picco massimo a 750 nm. I batteri fotosintetici possiedono la batterioclorofilla, con picchi di assorbimento nella banda dell'infrarosso.

I pigmenti accessori (caroteni e xantofille) assorbono fra 400 e 600 nm e svolgono principalmente una funzione di protezione dell'apparato fotosintetico dai danni ossidativi provocati da alta radiazione oltre a quella di aumentare l'efficienza della fotosintesi, trasmettendo l'energia di eccitazione alle molecole di clorofilla.

Variazioni della concentrazione dei pigmenti fotosintetici si possono verificare in particolare nel corso del processo di evoluzione fogliare (durante la formazione della foglia) e nella fase di senescenza fogliare. Inoltre variazioni della quantità e qualità dei pigmenti si verificano in seguito a esposizioni a fattori di stress, come ad esempio fattori

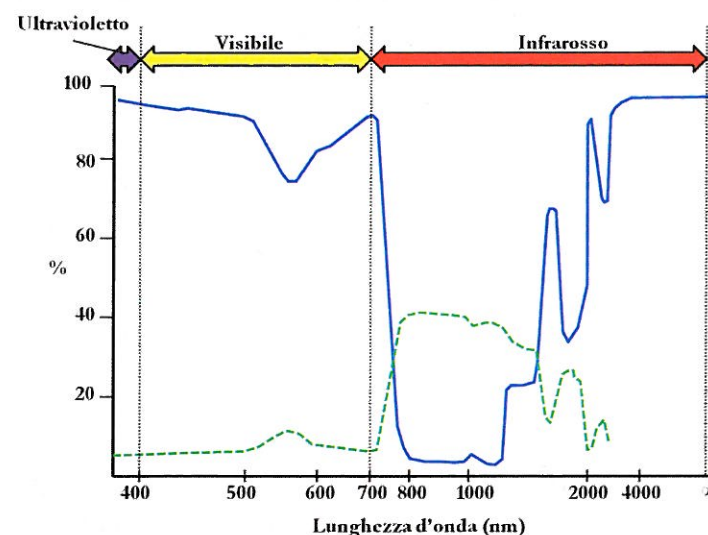



Figura 12.1. Spettro di assorbimento (tratto continuo) e di riflessione (tratteggiato) delle foglie.

inquinanti, elevata radiazione, alta o bassa temperatura o aridità.

La fase fotochimica inizia quando la radiazione viene assorbita dai pigmenti che sono incorporati in complessi proteici, il fotosistema I (PSI o P700) e il fotosistema II (PSII o P680), costituiti da un centro di reazione (complessi clorofilla a–proteine) e da pigmenti antenna (complessi clorofilla b–proteine). Il PSI è caratterizzato soprattutto da clorofilla a, presente esclusivamente nelle membrane tilacoidali e da un centro di reazione che ha un massimo di assorbimento a 700 nm ed è collegato al complesso b_6– f attraverso la plastocianina, una proteina mobile nel lume tilacoidale. Il PSII, rispetto al PSI, mostra una uguale quantità di clorofilla a e b ed è caratterizzato da un centro di reazione con un massimo di assorbimento a 680 nm.

I due fotosistemi agiscono come vettori di elettroni. La radiazione luminosa causa l'eccitazione delle molecole di clorofilla nei centri di reazione innescando una serie di reazioni di ossidoriduzione, generalmente rappresentate dal così detto "schema Z". Lo "schema Z" è suddiviso in due segmenti, uno per fotosistema: il primo segmento è alimentato dal PSII e riguarda la fotolisi dell'acqua e la produzione di ATP, mentre il secondo è alimentato dal PSI e riguarda il destino finale degli elettroni e la riduzione del $NADP^+$. L'evento fotochimico causa il trasferimento di un elettrone dalla clorofilla nel centro di reazione del PSII alla prima molecola accettrice. La clorofilla ossidata ha una carica positiva e il bilanciamento della carica avviene mediante l'ossidazione dell'H_2O, che rappresenta il primo donatore di elettroni. Le successive reazioni di ossidoriduzione portano alla sintesi di ATP mediante fotofosforilazione e alla riduzione del PSI il cui elettrone eccitato dalla radiazione luminosa serve a ridurre il $NADP^+$ in NADPH. Durante la fase luminosa della fotosintesi, il movimento degli elettroni genera un gradiente protonico la cui energia potenziale è utilizzata dall'enzima ATP–asi per sintetizzare molecole di ATP a partire da ADP e P_i.

La fase seguente del processo fotosintetico è rappresentato dalla fase oscura (indipendente dalla luce) della fotosintesi. Tale fase è costituita dal Ciclo di Calvin, caratterizzato da una serie di reazioni biochimiche, che portano alla fissazione della CO_2 in molecole organiche. L'organicazione del carbonio richiede il contributo energetico del NADPH e ATP, prodotti durante la fase luminosa della fotosintesi. La prima reazione del ciclo è una carbossilazione catalizzata dall'enzima RUBISCO (ribulosio 1,5 difosfato carbossilasi–ossigenasi). La reazione

con uno zucchero C_5 (ribulosio 1,5 difosfato) porta alla formazione di un intermedio a sei atomi di carbonio (C_6), molto instabile. Questo intermedio tende quindi ad una nuova condizione di stabilità, con conseguente formazione di due composti a tre atomi di carbonio (gliceraldeide–3–fosfato). Una molecola a tre atomi di carbonio viene utilizzata per formare progressivamente una molecola a sei atomi di carbonio (glucosio poi convertito in amido, cellulosa, amilosio ecc.) mentre la seconda molecola a tre atomi di carbonio serve a rigenerare l'accettore primario del Ciclo di Calvin, il ribulosio 1,5 difosfato, che può essere dunque utilizzato per fissare un'altra molecola di CO_2.

Lo studio degli scambi gassosi può essere utilizzato nell'analisi della capacità produttiva a livello di singola pianta o a livello ecosistemico. Sono molti i fattori che incidono sulla produttività fra cui la radiazione incidente, la capacità d'intercettazione di tale radiazione da parte della foglia, l'efficienza della conversione fotosintetica della radiazione e le perdite di biomassa a causa della respirazione. A livello internazionale gli studi ecologici sugli scambi gassosi attualmente sono finalizzati anche alla comprensione della capacità di risposta delle specie vegetali alla variazione dei fattori ambientali, incluso il cambiamento climatico globale. Le domande a cui si cerca di dare delle risposte sono: quali saranno le specie che riusciranno ad adattarsi al cambiamento climatico e permanere nel loro areale di distribuzione? È possibile aumentare la capacità produttiva delle colture in aree caratterizzate da aridità? È possibile utilizzare le piante per migliorare la qualità dell'aria in ambienti inquinati, in particolare dove la concentrazione di anidride carbonica è elevata come ad esempio gli ecosistemi urbani? Nel prossimo futuro per cercare di rispondere a queste domande si devono incrementare gli studi in campo, in particolare nelle foreste primarie e/o negli habitat a basso impatto antropico per definire protocolli utili per studi comparativi, con un approccio che, partendo dalla singola foglia arrivi all'analisi dell'intera pianta e/o dell'ecosistema, al fine di valutare attraverso le variazioni del bilancio del carbonio (rapporto fra la fotosintesi e la respirazione) la capacità di risposta alla variazione dei fattori ambientali e, quindi, la capacità produttiva potenziale.

12.1. Metodi di misura degli scambi gassosi

La misura degli scambi gassosi viene effettuata utilizzando analizzatori portatili di CO_2 a sistema aperto o chiuso, collegati a camere fogliari di misura idonea per la specie (come ad esempio conifere, aghiformi, latifoglie). Tali strumentazioni prelevano l'aria dall'esterno, la quale, dopo essere passata all'interno della camera in cui è posta la foglia, viene fatta fluire nell'IRGA (Infrared Gas Analizer), che misura la differenza nella frazione molecolare di CO_2 fra l'aria in entrata e quella in uscita.

L'IRGA consiste di quattro parti: una sorgente di infrarosso a banda larga, una cella contenente il gas, un filtro ottico e un detector. Le molecole eteroatomiche di gas assorbono la radiazione a specifiche lunghezze d'onda dell'infrarosso, pertanto la CO_2 presente nella cella provoca una diminuzione della radiazione che raggiunge il detector, causando una diminuzione del segnale di output del detector, che converte i segnali elettronici in una concentrazione proporzionale alle misure di trasmittanza.

Tale tipologia di strumenti permettono di misurare in tempo reale:

- fotosintesi netta (Pn, μmol CO_2 m^{-2} s^{-1})
- conduttanza stomatica (gs, mmol H_2O m^{-2} s^{-1})
- traspirazione (E, mmol H_2O m^{-2} s^{-1})
- concentrazione interna di CO_2 (Ci, μmol CO_2 mol^{-1} aria)
- radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, μmol fotoni m^{-2} s^{-1})
- temperatura fogliare (T_f, °C)
- temperatura dell'aria (T_{aria}, °C)

La fotosintesi netta è la misura delle moli di CO_2 fissate a netto dei costi respiratori e viene misurata dagli analizzatori portatili di CO_2 come funzione del gradiente di CO_2 che si stabilisce tra spazi intercellulari e atmosfera. La misura dei tassi di fotosintesi netta richiede la stima della concentrazione intercellulare di CO_2 (C_i) che viene effettuata dagli analizzatori portatili di CO_2 sulla base della differente concentrazioni di CO_2 tra l'aria entrante nella camera e quella uscente.

La conduttanza stomatica al vapor d'acqua è la misura della conduttanza di molecole d'acqua attraverso le cavità stomatiche, ed è

funzione del grado di apertura stomatica, della dimensione e della densità stomatica.

La traspirazione rappresenta la perdita di acqua dalle foglie, è direttamente proporzionale alla conduttanza stomatica ed al gradiente di concentrazione di vapor d'acqua che si instaura tra spazi intercellulari e atmosfera.

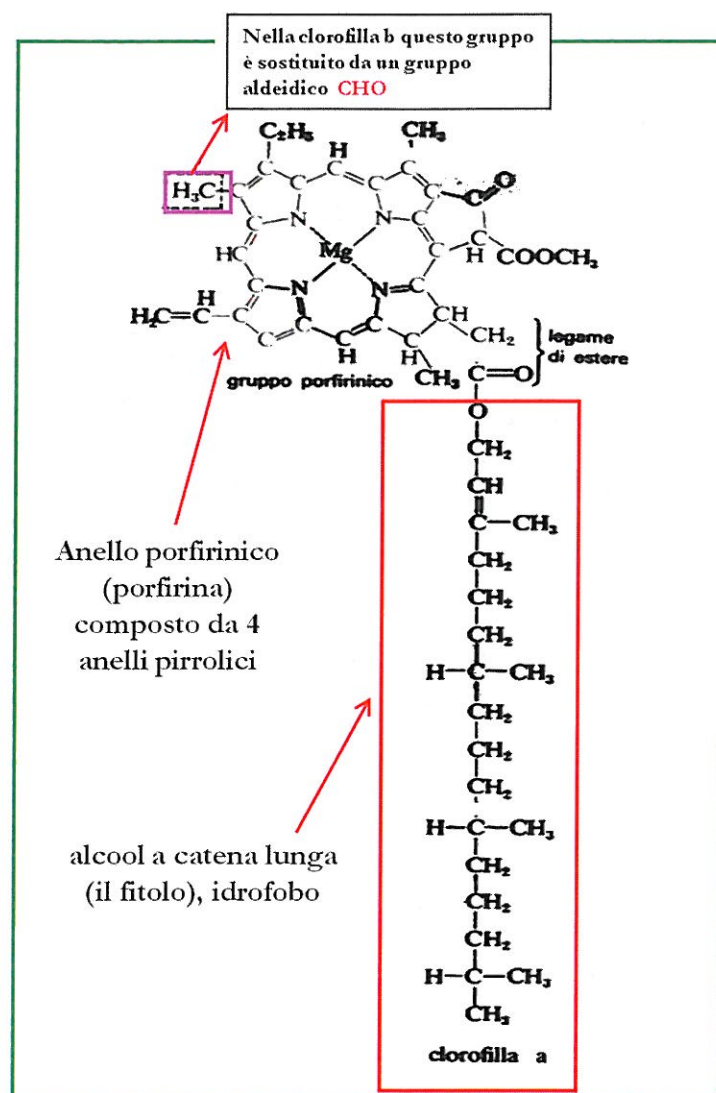
La respirazione fogliare (R_D, μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), che rappresenta le moli di CO_2 consumate attraverso la respirazione cellulare, non può essere misurata direttamente mediante gli analizzatori portatili di CO_2. Tuttavia, può essere determinata come tassi di emissione di CO_2 in foglie adattate al buio per 30 minuti come suggerito da Atkin (1998a; 1998b). Il tempo di acclimatazione al buio assicura la completa cessazione dell'attività fotosintetica e le successive misurazioni vengono condotte oscurando la camera fogliare. Per la misura si utilizzano le stesse tipologie di strumentazioni avendo l'accortezza di ombreggiare la camera per il tempo richiesto come sopra detto.

Tali parametri possono essere utilizzati per ottenere importanti informazioni sulla fisiologia delle piante, come ad esempio l'efficienza nell'uso dell'acqua per la fotosintesi (WUE, µmol CO_2 mmol H_2O^{-1}), calcolata dal rapporto fra i tassi di fotosintesi ed i tassi di traspirazione. Il WUE rappresenta dunque la quantità di acqua consumata durante la fissazione del carbonio per attività fotosintetica diventando un importante indicatore della strategia di utilizzo dell'acqua delle piante. In ambienti aridi, dove le piante si sviluppano in condizioni di ridotta disponibilità di acqua nel suolo, ad esempio, vengono favoriti elevati valori di WUE che garantiscono un ridotto utilizzo di acqua per fissare la CO_2 nella biomassa.

Il rapporto tra i tassi di respirazione fogliare e i tassi di fotosintesi netta (R_D/P_N) può essere utilizzato come espressione del bilancio del carbonio delle specie vegetali, poiché esprime la proporzione di CO_2 consumata per respirazione rispetto a quella fissata per attività fotosintetica. I valori di R_D/P_N possono essere utilizzati per definire il costo metabolico delle specie vegetali necessario per far fronte ai principali fattori di stress. Ad esempio, specie vegetali che si sviluppano a bassi livelli di radiazione luminosa, sebbene presentino tassi di fotosintesi netta e di respirazione più bassi rispetto a specie che si sviluppano ad alti livelli di radiazione, sono caratterizzate tuttavia da elevati valori di R_D/P_N che riflettono il costo metabolico necessario per far fronte ai

bassi livelli di radiazione (Larcher, 2003; Gratani *et al.*, 2008; 2011; 2014; Catoni e Gratani 2014; Catoni *et al.* 2015).

12.2. La Thermal Window

La misurazione degli scambi gassosi permette inoltre di definire la relazione fra la fotosintesi netta e la temperatura fogliare (T_l). Walter Larcher nel 1994 ha descritto tale relazione utilizzando una funzione polinomiale denominata "Photosynthetic Thermal Window", che mostra la temperatura cui corrisponde il massimo tasso di fotosintesi di una specie vegetale ed il limite superiore ed inferiore rispetto alla temperatura ottimale per cui si ha una riduzione del 50% del massimo tasso di fotosintesi, che equivale ad un maggior consumo di carbonio per respirazione rispetto al carbonio assimilato per attività fotosintetica. L'implicazione di tale relazione in ecologia vegetale va riferita alla possibilità di evidenziare differenze nei range di temperatura in cui le specie vegetali possono mantenere un bilancio del carbonio positivo. Inoltre, poiché la temperatura fogliare è strettamente correlata con la temperatura ambientale (in media inferiore di 2°C rispetto alla temperatura fogliare), la *Photosynthetic Thermal Window* permette di definire le differenti risposte delle specie alla temperatura.

Nella clorofilla b questo gruppo è sostituito da un gruppo aldeidico CHO

legame di estere

gruppo porfirinico

Anello porfirinico (porfirina) composto da 4 anelli pirrolici

alcool a catena lunga (il fitolo), idrofobo

clorofilla a

L'assorbimento della luce avviene a livello dell'anello porfirinico, che ha un elevato numero di doppi legami coniugati ed un atomo di magnesio al centro

Figura 12.2. Rappresentazione della molecola di clorofilla a e di clorofilla b.

La clorofilla c è priva del fitolo. Assorbe fra 700 e 800 nm

clorofilla c

La clorofilla d ha la stessa struttura della clorofilla a, tranne la sostituzione del gruppo vinilico $CH=CH_2$ con quello aldeidico CHO

Assorbe tra 710 e 725 nm

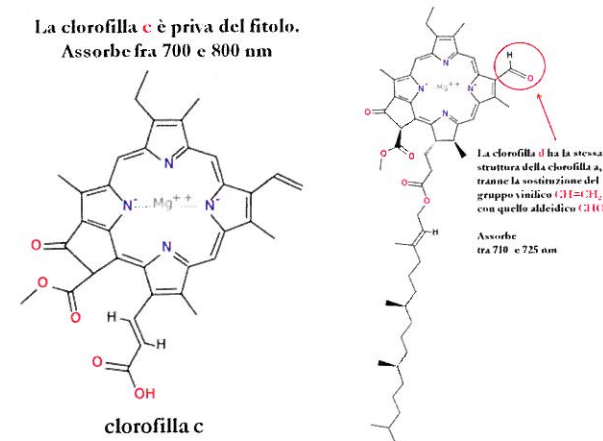



Figura 12.3. Rappresentazione della clorofilla c (a sinistra) e della clorofilla d (a destra).

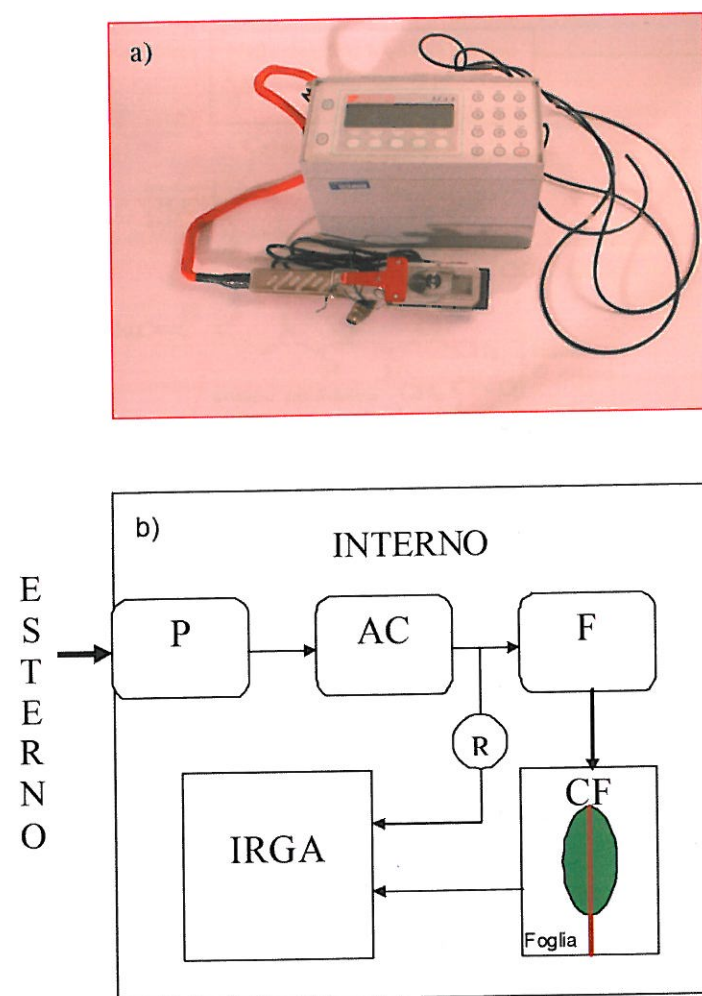



Figura 12.4. a) Analizzatore portatile di scambi gassosi fogliari a sistema aperto. b) Schema di funzionamento del sistema di rilevamento della fotosintesi netta: l'aria esterna viene pompata (P) verso l'interno e passa attraverso un sistema di controllo dell'umidità e della concentrazione di CO_2 (AC). Il flusso d'aria in entrata è controllato da un flussometro (F), da cui l'aria viene convogliata nella camera contenente la foglia (CF). L'aria in uscita dalla camera viene inviata all'analizzatore a raggi infrarossi (IRGA) che determina la concentrazione di CO_2 consumata dalla foglia (tasso di fotosintesi) dal confronto con la concentrazione di CO_2 della corrente d'aria di riferimento (R).

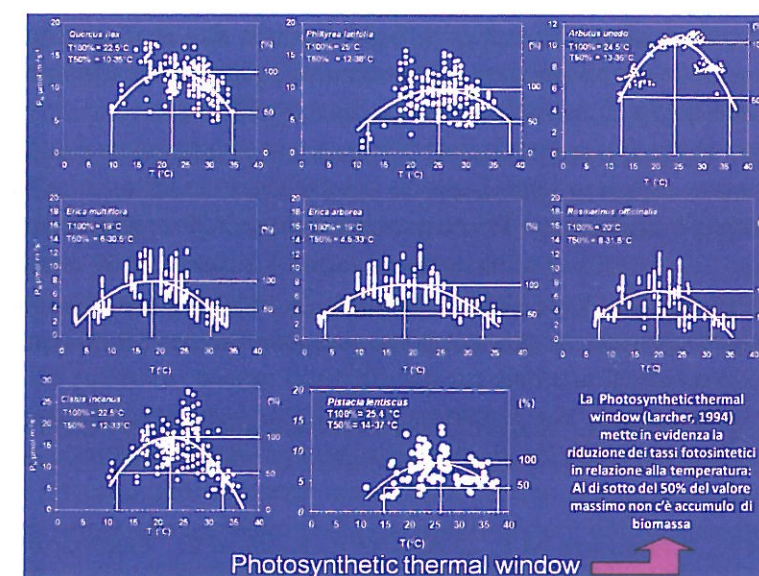



Figura 12.5. Modello della risposta della fotosintesi netta (P_n) alla variazione della temperatura fogliare (T °C) *Photosynthetic thermal window* (Larcher, 1994).

Bibliografia

ATKIN O.K., EVANS J.R., BALL M.C., SIEBKE K., PONS T.L., LAMBERS H. *Light inhibition of leaf respiration: the role of irradiance and temperature.* In Moller I.M., Gardestrom P., Gliminius K., Glaser E., (eds), Plant Mitochondria: From Gene to Function. Bluckhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 1998a, pp. 567–574.

ATKIN O.K., EVANS J.R., SIEBKE K. *Relationship between the inhibition of leaf respiration by light and enhancement of leaf dark respiration following light treatment.* Aust. J. Plant Physiol., 1998b, 25: 437–443.

CATONI R., GRATANI L. *Variations in leaf respiration and photosynthesis ratio in response to air temperature and water availability among Mediterranean evergreen species.* J. Arid Environ. 2014, 102: 82–88.

CATONI R., GRANATA M.U., SARTORI F., VARONE L., GRATANI L. *Corylus avellana responsiveness to light variations: morphological, anatomical and physiological leaf trait plasticity.* Photosynthetica 2015, DOI: 10.1007/s11099-015-0078-5.

GRATANI L., VARONE L., CATONI R. *Relationship between net photosynthesis and leaf respiration in Mediterranean evergreen species.* Photosynthetica, 2008, 46: 567–573.

GRATANI L., CATONI R., VARONE L. *Photosynthetic and leaf respiration activity of Malcolmia littorea (L.) R.Br. in response to air temperature.* Photosynthetica, 2011, 49: 65–74.

GRATANI L., CRESCENTE M.F., D'AMATO V., RICOTTA C., FRATTAROLI A.R., PUGLIELLI G. Leaf traits variation in Sesleria nitida growing at different altitudes in the Central Apennines. Photosynthetica, 2014, 54: 386–396.

LARCHER W. *Photosynthesis as a tool for indicating temperature stress events.* 1994. In: Schulze E.D., Caldwell M.M. eds., Ecophysiology of Photosynthesis, Ecological Studies, 100, Springer, Berlin 1994, pp. 261–277.

LARCHER W. *Physiological plant ecology.* Springer, Berlin, 2003.

Capitolo XIII

L'acqua e la pianta

Nel suolo l'acqua meteorica penetra in profondità fino alla falda freatica con una velocità di qualche metro per anno. In particolare nei terreni argillosi l'acqua penetra con una velocità di 1–2 metri per anno e nei terreni compatti di pochi decimetri per anno. L'acqua è trattenuta dai colloidi attraverso le forze superficiali di attrazione o per capillarità, quindi non ha piena mobilità nel suolo. Tutti i processi metabolici di una cellula vegetale si svolgono in ambiente acquoso e l'acqua risulta necessaria per impedire l'appassimento delle piante.

Le piante si collocano all'interfaccia tra il suolo e l'atmosfera, giocando un ruolo centrale nel passaggio del vapore acqueo tra il terreno e l'aria e possono essere considerate un sistema idraulico continuo che mette in connessione l'acqua presente nel suolo con il vapore acqueo che definisce il "*continuum* suolo–pianta–atmosfera".

Nel sistema suolo–pianta–atmosfera l'acqua si muove da un punto all'altro seguendo i gradienti di potenziale idrico, definito come l'energia potenziale (joules) per unità di massa di acqua (m^3) con riferimento all'acqua pura, che ha potenziale zero, diffondendo da regioni a più alto potenziale idrico a regioni a più basso potenziale. Le componenti di tale potenziale idrico sono: il potenziale di pressione, che rappresenta il risultato della pressione idrostatica nelle cellule; il potenziale osmotico, che esprime una forza di tensione (suzione) e dipende dalla concentrazione di soluti; il potenziale matriciale, che dipende dalle interazioni tra la fase liquida e quella solida di un determinato tessuto, l'acqua si lega infatti alla fase solida attraverso fenomeni di capillarità; il potenziale gravitazionale, legato alla forza di gravità che è in relazione all'altezza della pianta.Elevati gradienti di potenziale idrico tra il suolo e l'atmosfera facilitano la traslocazione dell'acqua secondo la teoria della tensione– coesione che spiega il passaggio dell'acqua dal suolo attraverso la pianta fino all'atmosfera. In particolare, l'acqua persa

dalle cellule del mesofillo per traspirazione crea una tensione, che si propaga fino ai peli radicali, consentendo l'assorbimento di acqua dal terreno.

Il processo di traspirazione è guidato dal gradiente di concentrazione di vapore d'acqua tra l'aria presente negli spazi intercellulari del mesofillo, molto vicina alla saturazione con un potenziale che oscilla fra –5 e –20 bars (corrispondente ad una umidità relativa del 99.6%) e l'aria esterna alla foglia, che ha un potenziale molto negativo. L'acqua fuoriesce dagli stomi, richiamando, di conseguenza l'acqua dalle cellule vicine fino a quelle della radice. La traspirazione è strettamente influenzata dalla condizione dell'atmosfera confinante con la foglia (barriera di diffusione del vapore d'acqua) che, quando è ferma (dove non c'è vento), rallenta il fenomeno di traspirazione. Si deve inoltre considerare che la traspirazione è determinata anche dalle caratteristiche del mesofillo fogliare (densità cellulare, volume degli spazi intercellulari) e degli stomi (grandezza, densità, sensibilità stomatica), dai fattori ambientali (temperatura, umidità), dalla velocità del vento e dalla radiazione incidente.

Di tutta l'acqua assorbita, solo una piccola parte (1–2%) è impiegata nel metabolismo poiché tutto il resto è traspirato. Ad esempio un albero può traspirare fino a 200–300 litri di acqua al giorno. L'acqua si muove nei vasi contro la forza di gravità, dal basso della pianta verso l'alto, determinando una pressione idrostatica corrispondente in media a 0.1 atmosfere per metro. La velocità del trasporto è influenzata da molti fattori, fra cui la disponibilità idrica del terreno, l'umidità dell'aria, la temperatura del terreno e dell'aria circostante, le caratteristiche anatomiche dei vasi (trachee e tracheidi) e del mesofillo fogliare (densità cellulare, taglia delle cellule, volume degli spazi intercellulari e spessore della cuticola).La velocità di trasporto può variare da 1–2 metri all'ora nel caso delle conifere (caratterizzate da fibrotracheidi) a 100–150 nelle liane (caratterizzate da trachee). Si deve considerare che il flusso dell'acqua e dei sali minerali attraverso le radici e il fusto fino alle foglie si sposta poiché la traspirazione determina una perdita della pressione di turgore e, di conseguenza, il potenziale dell'acqua nelle cellule del mesofillo si abbassa generando una tensione di assorbimento. Quindi l'acqua si muove verso potenziali sempre più negativi dal suolo fino all'atmosfera. La quantità di acqua trasportata attraverso i vasi è proporzionale al gradiente di potenziale dell'acqua, che

rappresenta la forza motrice esistente fra il suolo e l'atmosfera ed è inversamente proporzionale alla resistenza che incontra lungo il tragitto. Lo stato di tensione dell'acqua è determinato dalla forza di coesione delle molecole di acqua nei vasi. Una tensione di 30 atmosfere determina la risalita dell'acqua fino a 150 m in altezza. Ogni pianta, in base alle caratteristiche dei suoi vasi ha una diversa conducibilità dell'acqua (maggiore è la conducibilità, minore è la resistenza). Ad esempio, le caducifoglie, con un diametro dei vasi di 500 μm, sono caratterizzate da una maggiore conducibilità rispetto alle conifere (diametro vasi 50 μm).

La resistenza da una tracheide all'altra è maggiore perché il passaggio avviene fra le punteggiature esistenti nelle pareti delle cellule sovrapposte, mentre il passaggio fra una trachea e l'altra è facilitato dall'assenza delle pareti trasversali. In generale i vasi grandi hanno una maggiore probabilità di embolie.

La massima velocità di traspirazione dipende dunque dalla morfologia del sistema conduttore e dalla regolazione dell'apertura stomatica ed è quindi specie–specifica. Le piante sono in grado di adeguare la traspirazione in relazione alla loro economia idrica. Tale regolazione è caratteristica della specie ed è volta alla regolazione del bilancio idrico della pianta, che può variare nelle diverse specie, in base alle caratteristiche genetiche ed ambientali. Le perdite di acqua per traspirazione devono essere quindi compensate dalle entrate regolate dall'assorbimento radicale. Un bilancio idrico negativo si manifesta con la disidratazione dei tessuti e la riduzione del potenziale idrico. Se il potenziale idrico della foglia scende a valori molto negativi entra in funzione un sistema di regolazione stomatica, indipendente dalla concentrazione di anidride carbonica, regolato anche dall'azione dell'ormone vegetale acido abscissico (ABA), che inibendo gli enzimi amilolitici e i canali di trasporto del potassio, favorisce la perdita di turgore delle cellule di guardia e la conseguente chiusura stomatica.

La perdita di acqua dalle foglie dipende dunque da 2 fattori:

— Il gradiente di concentrazione del vapore d'acqua dagli spazi liberi del mesofillo all'esterno;
— La resistenza alla diffusione nella via che porta all'esterno.

Nonostante i meccanismi di controllo del grado di apertura stomatica circa il 90–99% dell'acqua assorbita dalle radici viene rilasciata mediante la traspirazione.

13.1. Misura del potenziale idrico

Le misure del potenziale idrico (Ψ) possono essere effettuate mediante camere a pressione portatili come la camera di Sholander. Si tratta di una camera a pressione, munita di un apposito misuratore di pressione e collegata, durante le misure, ad una bombola contenente gas liquido inerte ad alta pressione (in genere si tratta di azoto, non ossigeno perché danneggia i tessuti vegetali).

La procedura prevede che le foglie (o piccoli rami) prelevate dalla pianta vengano poste in una busta in plastica. Al momento della misurazione si taglia la foglia all'altezza del picciolo e si sigilla il campione all'interno della camera a pressione, lasciando fuoriuscire solo l'estremità recisa. Il gas viene dunque immesso all'interno della camera a pressione, fino al momento in cui fuoriesce la prima goccia d'acqua dall'area del taglio e si effettua la lettura della pressione esercitata che corrisponde al potenziale idrico del campione. Successivamente si decomprime e si libera la camera per una nuova lettura.

Il potenziale idrico nelle piante segue una dinamica giornaliera e di conseguenza viene misurato in due precisi momenti della giornata: prima dell'alba (predawn), che viene usato come stima indiretta del contenuto d'acqua disponibile per la pianta, e a mezzogiorno (midday), assunto come potenziale idrico fogliare minimo giornaliero.

La misura del potenziale idrico fogliare fornisce dunque la misura dell'energia delle molecole d'acqua nei tessuti fogliari ma non permette di definire la quantità di acqua disponibile per i tessuti. Quindi contemporaneamente alle misure di Ψ è importante calcolare il contenuto relativo di acqua fogliare (RWC, %), poiché l'acqua è il costituente principale delle cellule vegetali ed il suo contenuto può variare con il tipo di cellule e le condizioni fisiologiche.

A tale scopo le foglie vengono raccolte al predawn e a midday, in corrispondenza delle misure di potenziale idrico, riposte immediatamente in sacchetti di plastica (in modo da prevenire eventuali perdite

di acqua) e trasportate in laboratorio in una borsa termica. Il RWC è calcolato come segue:

$$\text{contenuto relativo di } H_2O \text{ (RWC)} = \frac{100 \times (\text{peso fogliare fresco - peso fogliare secco})}{(\text{peso fogliare saturo - peso fogliare secco})}$$

Misure di Ψ e di RWC condotte contemporaneamente sono necessarie per stabilire le strategie di conservazione dell'acqua nelle piante.

La determinazione delle strategie di uso dell'acqua da parte delle piante ha permesso la classificazione delle specie vegetali in:

- Idrofite: vivono dove l'acqua è sempre disponibile
- Mesofite: vivono dove la disponibilità di acqua è intermedia
- Alofite: vivono in presenza di alte concentrazioni di sale e il loro potenziale idrico è sempre molto negativo. La concentrazione di sali tende inoltre a non aumentare poiché la succulenza determina una maggiore quantità di acqua volta a ridurre la componente osmotica del potenziale idrico. I sali possono essere escreti sull'epidermide o confinati nel vacuolo.
- Xerofite: vivono in ambienti dove l'acqua scarseggia e i loro protoplasti sono sottoposti a potenziali idrici estremamente negativi. Meccanismi di concentrazione dei soluti nei succhi cellulari permettono a queste piante di assorbire l'acqua nel terreno.

Tali adattamenti si riflettono in una differente capacità aspirante delle specie; ad esempio, le igrofite hanno una capacità aspirante fino a 10 bar, le specie di ambienti assolati e le specie arboree fino a 40 bar mentre le xerofite fino a 60 bar.

Figura 13.1. Dall'alto, in senso orario, una specie idrofita (*Ceratophyllum demersum* L.), una mesofita (*Tilia cordata* L.), una alofita (*Cakile maritima* Scop.) e una xerofita (*Parodia sanguiniflora* (Fric) Backbg).